

VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Ostrava, 2017

Bc. Tomáš Klein

VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY
KATEDRA ELEKTRONIKY

**Řídicí a regulační procesy elektronických systémů
řízení motoru EDC**

**The Control and Regulation Procesess of EDC
Electronic Engine Control Systems**

Ostrava, 2017

Bc. Tomáš Klein

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Tomáš Klein

Studijní program:

N2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

2612T003 Aplikovaná elektronika

Téma:

Řídicí a regulační procesy elektronických systémů řízení motoru EDC
The Control and Regulation Processes of EDC Electronic Engine
Control Systems

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

- 1) Sestavte ucelený teoretický popis vlastností všech generací systémů řízení motoru EDC. Detailněji se zaměřte na typ EDC15.
- 2) S využitím software WinOLS a emulátoru OLS300 proveďte zkoumání vlastností konkrétní vytipované řídicí jednotky EDC15.
- 3) Po dohodě s vedoucím proveďte softwarové úpravy/optimalizace řídicí jednotky za účelem dalšího využití při laboratorní výuce předmětu Automobilová elektronika II. Proveďte experimentální analýzy vlastností motoru před a po úpravě.
- 4) Vytvořte laboratorní úlohu s využíváním dané zkoumané jednotky EDC15 a emulátoru OLS300.

Seznam doporučené odborné literatury:

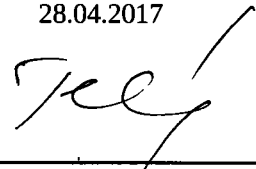
Dle doporučení vedoucího práce.

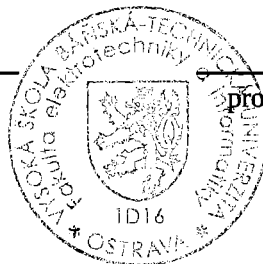
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Šimoník, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2016

Datum odevzdání: 28.04.2017


doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Petra Šimoníka, Ph.D a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v přiloženém seznamu.

V Ostravě dne 15.04.2017



podpis

Poděkování

Rád bych touto cestou vyjádřil poděkování panu Ing. Petru Šimoníkovi, Ph.D za jeho cenné rady a trpělivost při vedení mé diplomové práce.

Abstrakt

KLEIN, T.: Řídicí a regulační procesy elektronických systémů řízení motoru EDC. Ostrava 2017. 53 stran. Diplomová práce. VŠB Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce: Ing. Petr Šimoník, Ph.D.

Tato diplomová práce se zabývá analýzou aplikačního software systémů řízení motoru EDC. Součástí řešení je návrh a praktická realizace laboratorního modelu s řídicí jednotkou Bosch EDC15. V úvodní části je provedena analýza všech generací řízení motoru EDC, následuje analýza konkrétního aplikačního software. Další kapitola se zabývá úpravou/optimalizací dat řídicí jednotky a experimentálním ověřením výsledků. V závěru práce je popsán návrh a realizace laboratorního modelu a následuje popis vytvořené laboratorní úlohy pro další využití při výuce předmětu Automobilová elektronika II.

Klíčová slova

Bosch EDC, EGR ventil, emise výfukových spalin, flash paměť, OBD, OLS300, řídicí jednotka, řízení a regulace, WinOLS.

Abstrakt

KLEIN, T.: The Control and Regulation Processes of EDC Electronic Engine Control Systems. Ostrava 2017. 53 pages. Diploma thesis. VŠB Technical university Ostrava. Thesis head: Ing. Petr Šimoník, Ph.D.

The aim of this master's thesis is an analysis of an engine control system's application software EDC. Included in the project is a design and practical realization of a laboratory model using Bosch EDC15 control unit. In the introduction, an analysis of all EDC generations is performed, followed by an analysis of specific application software. The next chapter concerns with editing/optimalization of Electronic Control Unit data and experimental verification of results. The conclusion includes a description of the design and realization of the laboratory model, followed by a description of creating a laboratory project for future use in the class of Automotive Electronics II.

Key Words

Bosch EDC, EGR valve, emission of exhaust gas, flash memory, OBD, OLS300, control unit, control and regulation, WinOLS.

Seznam použitých zkratk a symbolů

ASCII	American Standard Code for Information Interchange	Americký standardní kód pro výměnu informací
ASIC	Application Specific Integrated Circuit	Integrované obvody pro specifické aplikace
BDM	Background Debug Mode	Typ komunikačního rozhraní
BIP	Beginning of Injection Period	Začátek periody vstřikování
CO	Carbon monoxide	Oxid uhelnatý
CO ₂	Carbon dioxide	Oxid uhličitý
CPU	Central Processing Unit	Mikroprocesor
CR	Common Rail	Vstřikování se zásobníkem
ECU	Electronic Control Unit	Elektronická řídicí jednotka
EDC	Electronic Diesel Control	Elektronická regulace vznětových motorů
EGR	Exhaust Gas Recirculation	Recirkulace spalin
HC	Hydrocarbon	Uhlovodíky
HEX	Hexadecimal numeral system	Hexadecimální soustava
MAF	Mass Air Flow	Hmotnost nasávaného vzduchu
MAP	Manifold Atmospheric Pressure	Tlak nasávaného vzduchu
MCU	Micro Controller Unit	Mikrokontrolér
NO _x	Nitrogen oxides	Oxidy dusíku
OBD	On-board diagnostics	Palubní diagnostika
PD	Pumpe Düse	Vstřikování čerpadlo-tryska
PWM	Pulse Width Modulation	Pulsně šířková modulace
SOIC	Small Outline Integrated Circuit	Integrovaný obvod pro povrchovou montáž
SOP	Small Outline Package	Pouzdro pro povrchovou montáž
TDI	Turbocharged Direct Injection	Přepřínovaný motor s přímým vstřikem paliva
TSOP	Thin Small Outline Package	Tenké pouzdro pro povrchovou montáž
USB	Universal Serial Bus	Univerzální sériová sběrnice
VTG	Variable Geometry Turbocharger	Turbodmychadlo s proměnnou geometrií lopatek
f	frekvence	$[Hz]$
m_p	měrná spotřeba paliva motoru	$g/kW \cdot h$
n	otáčky	$[ot/min]$
p_e	střední efektivní tlak	$[bar]$
T	perioda	$[s]$
v	rychlost	$[m \cdot s^{-1}]$
φ	úhlová dráha	$[rad]$

Obsah

Seznam obrázků

Seznam tabulek

1	Úvod	1
2	Teorie řízení vznětových motorů	2
2.1	Histrie firmy Bosch	2
2.2	Generace řídicích jednotek EDC	2
2.3	Řízení a regulace	5
2.4	Vstřikování PD	6
2.5	Regulace přepřňování	9
2.6	Regulace EGR ventilu	10
2.7	Složení emisí spalovacího motoru	11
3	Analýza aplikačního softwaru řídicí jednotky	13
3.1	Metody vyčtení/zápisu aplikačního softwaru řídicích jednotek	13
3.2	Software WinOLS	14
3.3	Emulátor OLS300	19
3.4	Analýza aplikačního softwaru řídicí jednotky EDC15P+	21
4	Optimalizace řídicí jednotky motoru	29
4.1	Úprava řízení EGR ventilu	31
4.2	Úprava startovací dávky motoru	38
5	Laboratorní úloha	40
5.1	Tvorba laboratorního panelu EDC15P+	40
5.2	Generování otáček motoru	42
5.3	Úprava identifikace řídicí jednotky	45
5.4	Příklad laboratorní úlohy - úprava doby aktivace žhavicích svíček motoru . .	46
5.5	Příklad laboratorní úlohy - úprava délky vstřikování paliva	47
6	Závěr	50
7	Seznam příloh	53

Seznam obrázků

2.1	Konstrukce řídicí jednotky EDC15	3
2.2	Blokové schéma řídicí jednotky EDC15	4
2.3	Umístění vstřikovače v hlavě válců motoru	7
2.4	Průběh proudu protékající cívkou vstřikovače	9
2.5	Diagram recirkulace spalin	11
3.1	Okno programu WinOLS	14
3.2	Programové okno pro tvorbu databáze	15
3.3	Automaticky vyhledaná mapa počátku vstřikování paliva pomocí programu WinOLS	16
3.4	Textové zobrazení datového pole obsahující mapu počátku vstřikování paliva pomocí programu WinOLS	17
3.5	2D zobrazení datového pole obsahující mapu počátku vstřikování paliva pomocí programu WinOLS	18
3.6	Nastavení zobrazení mapy počátku vstřikování paliva v programu WinOLS .	19
3.7	Řídicí jednotka motoru s připojeným emulátorem OLS300	20
3.8	Oblast čtení mikrokontroléru řídicí jednotky motoru	20
3.9	Nastavený typ emulované paměti řídicí jednotky EDC15P+	21
3.10	Požadované množství vstřikovaného paliva	22
3.11	Omezení kouřivosti pomocí snímače hmotnosti nasávaného vzduchu	22
3.12	Omezení kouřivosti - 3D pohled	23
3.13	Mapa počátku vstřikování paliva	23
3.14	Mapa délky vstřikování paliva 0	24
3.15	Mapa požadovaného tlaku přepřňování	24
3.16	Mapa limitace tlaku přepřňování	25
3.17	Mapa korekce tlaku přepřňování na základě teploty nasávaného vzduchu . . .	25
3.18	Mapa VTG řízení turbodmychadla	26
3.19	Mapa požadované hmotnosti nasávaného vzduchu pro regulaci EGR ventilu .	27
4.1	Testované vozidlo VW Bora	29
4.2	Měrná spotřeba paliva motoru 1.9TDI	30
4.3	Naměřený průběh momentu a výkonu motoru	31
4.4	Oblast čtení v mapě požadované hmotnosti nasávaného vzduchu	31
4.5	Test funkčnosti EGR ventilu	32
4.6	Měření řídicího napětí pro EGR ventil osciloskopem	33
4.7	Úprava mapy EGR ventilu, verze 1	34

4.8	Úprava mapy EGR ventilu, verze 2	34
4.9	Vliv EGR ventilu na emise motoru	37
4.10	Oblast čtení z mapy startovací dávky	38
4.11	Upravená startovací dávka paliva	39
5.1	Měřicí stanoviště laboratorní úlohy	40
5.2	Laboratorní panel s řídicí jednotkou EDC15P+	41
5.3	Naměřený signál snímače otáček klikové hřídele	42
5.4	Nastavení sekvence signálu arbitrary generátoru	43
5.5	Vygenerovaný signál otáček pomocí arbitrary generátoru	44
5.6	Impulsní kolo klikového hřídele	44
5.7	Upravená oblast identifikace řídicí jednotky	45
5.8	Zobrazení identifikace pomocí diagnostiky VCDS	45
5.9	Oblast čtení v mapě doby aktivace žhavicích svíček	46
5.10	Úprava mapy doby aktivace žhavicích svíček	47
5.11	Změřená doba aktivace žhavicích svíček před a po úpravě pro teplotu chladicí kapaliny -25 °C	47
5.12	Oblast čtení v mapě délky vstřikování paliva 3	48
5.13	Změřený průběh proudu vstřikovačem - sériový stav	49
5.14	Změřený průběh proudu vstřikovačem - zvýšení hodnoty o 90%	49

Seznam tabulek

3.1	Nastavení PID regulátoru regulace turbodmyhadla	27
3.2	Nastavení PI regulátoru EGR ventilu	28
4.1	Chyby měření emisního analyzátoru	30
4.2	Testování EGR ventilu při konstantních otáčkách motoru	32
4.3	Měření emisí sériového stavu pro konstantní otáčky motoru	33
4.4	Porovnání požadované hodnoty množství nasávaného vzduchu pro konstantní otáčky motoru	35
4.5	Porovnání NO_x po optimalizaci EGR pro konstantní otáčky motoru	35
4.6	Porovnání kouřivosti po optimalizaci EGR pro konstantní otáčky motoru . . .	36
4.7	Porovnání výkonu po optimalizaci EGR pro konstantní otáčky motoru	37
5.1	Příklady přepočtu frekvence signálu generátoru na otáčky motoru	43
5.2	Doba aktivace žhavicích svíček před a po úpravě	46
5.3	Porovnání délky vstřikování paliva před a po úpravě	48

1. Úvod

U vznětových motorů se emise spalin redukuje, mimo jiné, tzv. pomocí opatření uvnitř motoru, tzn. řízením průběhu spalování. Jen díky elektronické regulaci vznětového motoru (EDC) lze uskutečnit výpočet veličin délky vstřiku - vstřikovaného množství paliva v závislosti na zatížení a otáček a dále přizpůsobuje dle aktuální teploty, atmosférického tlaku atd.

Řídicí jednotka Bosch EDC15 nepatří mezi nejmodernější, ale má určitou výhodu oproti svým nástupcům. Jedná se o kontrolní součet oblasti aplikačního software řídicí jednotky, tzv. CheckSum. Ten je u generace EDC15 uložený na několika místech pouze ve FLASH paměti. Modernější generace mají tyto hodnoty uloženy ve více paměťových úložištích. To zamezuje externí emulaci FLASH paměti aplikačního software řídicí jednotky motoru. Z tohoto důvodu byla v této diplomové práci používána generace EDC15 s doplňkovým modulem OLS300, který pracuje ve spojení s programem WinOLS. Takto upravená řídicí jednotka umožňuje změnu důležitých dat (map, neboli polí konstant) v oblasti řízení a regulace motoru za běhu agregátu.

Softwarové úpravy či optimalizace jsou často spojovány pouze s tzv. „chiptuningem“, v mnoha případech za účelem zvýšení výkonu motoru automobilu. Tato diplomová práce popisuje další možnosti úprav aplikačního softwaru řídicí jednotky motoru a především vysvětlení či pochopení, jak řídicí a regulační procesy fungují.

Cílem této diplomové práce je navrhnout a realizovat laboratorní model s řídicí jednotkou Bosch EDC15, provést rozsáhlou analýzu jejího aplikačního software a vytvořit platformu pro praktickou výuku v oblasti automobilové elektroniky. Návrhu bude předcházet podrobné zkoumání procesů řízení a regulace na reálném vozidle.

2. Teorie řízení vznětových motorů

2.1 Histrie firmy Bosch [6]

Rokem 1922 začal u firmy Bosch vývoj vstřikovacího systému pro vznětové motory. Bosch měl velké zkušenosti se spalovacími motory, měl znalosti z vývoje mazacích čerpadel a výrobní technika byla rozvinutá. Rokem 1927 byla zahájena sériová výroba vstřikovacích čerpadel. Přesnost čerpadel byla na velmi dobré úrovni. Malé rozměry a lehká konstrukce umožňovala vyšší otáčky vznětového motoru. Vyrobená řadová vstřikovací čerpadla byla montována v užitkových vozidlech, později i ve vozidlech osobních. Práce na vývoji vznětového motoru nadále pokračovaly.

V roce 1962 firma Bosch vyvinula rotační vstřikovací čerpadlo s automatickým přesuvníkem vstřiku a započal výzkum elektronické regulace vznětového motoru.

V roce 1986 bylo firmou Bosch představeno první rotační čerpadlo s elektronicky regulovaným vstřikem. Tímto začala éra systému EDC. Rokem 1994 byly uvedeny první sdružené vstřikovače PD. Vstřikovací tryska a vstřikovací čerpadlo jsou spojeny v jeden celek. Každou takovou jednotku ovládá pro každý válec vačkový hřídel.

Nejnovější vstřikovací systém CommonRail využívá pro vysokotlaké vstřikování společný zásobník. Tento systém se sériově vyrábí od roku 1997.

2.2 Generace řídicích jednotek EDC

Úvod

Bosch EDC je elektronická regulace moderních vznětových motorů (Electronic Diesel Control), která ovládá všechny parametry, které rozhodují o účinném spalování s nízkými emisemi. Tyto řídicí jednotky jsou využívány širokým spektrem výrobců automobilů např. BMW, VW AG, Opel a mnoho dalších.

Tato práce se zaměřuje na řídicí jednotky EDC15P+, které jsou montovány do vozidel koncernu VW AG s motorizací TDI-PD, tedy vstřikování čerpadlo-tryska.

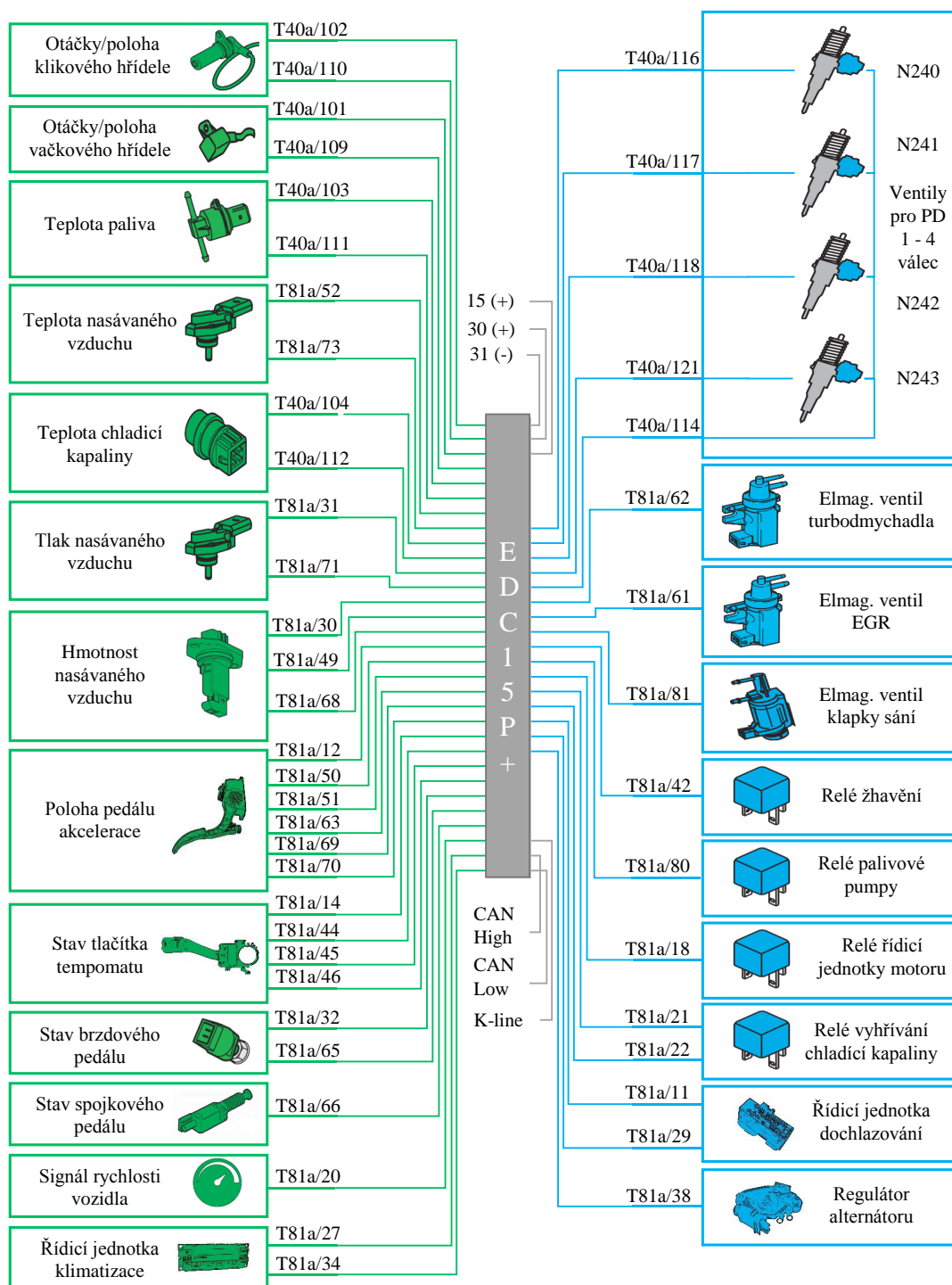
EDC15

Základem řídicí jednotky je vícevrstvá deska plošných spojů, na které jsou umístěny všechny důležité součástky. Mezi hlavní komponenty patří mikrokontrolér, FLASH paměť, spínaný zdroj se stabilizací napětí, koncové stupně pro malé a velké výkony, EEPROM a I/O obvody.



Obrázek 2.1: Konstrukce řídicí jednotky EDC15

Mikrokontrolér řídicí jednotky je 16-ti bitový Siemens C167CR. FLASH paměť je také 16-ti bitová o velikosti 512 kB, označená 29F-400BT, v pouzdře SOP 44. V této paměti je uložený aplikační software, ze které mikrokontrolér čte veškerá data z hlediska řízení motoru. Paměť je rozdělena do několika oblastí, dle typu řídicí jednotky. Tyto oblasti jsou vytvořeny pro rozdílné verze převodového ústrojí automobilu. Vozidlo může být vybaveno manuální, automatickou převodovkou nebo pohonem všech kol. Každá tato verze má vlastní oblast aplikačního softwaru, které je možné přepínat pomocí kódování řídicí jednotky.



Obrázek 2.2: Blokové schéma řídicí jednotky EDC15

Na obrázku 2.2 je znázorněno blokové schéma řídicí jednotky motoru EDC15P+. Schéma je vytvořeno ze tří hlavních částí.

- **Snímače** snímají důležité provozní a předepsané hodnoty. Snímanou fyzikální veličinu převádějí na elektrický signál.
- **Řídicí jednotka**, která na základě vstupních signálů od snímačů řídí veškerou činnost motoru pomocí příslušných akčních členů elektrickými výstupními signály. Dále řídicí jednotka obsahuje komunikační rozhraní k dalším systémům a diagnostice automobilu.
- **Akční členy**, které převádějí elektrické výstupní signály řídicí jednotky na mechanické veličiny.

EDC16

Řídicí jednotka EDC16 je i přesto, že existuje modernější varianta, jedna z nejpoužívanějších řídicích jednotek montovaných do osobních či průmyslových vozidel. Řídicí jednotka je využívána pro systémy vstřikování čerpadlo-tryska nebo Common Rail se společným zásobníkem.

Bosch EDC16 je první řídicí jednotkou dieselových motorů s aplikací momentově orientovaného řízení. To nese velkou výhodu při komunikaci s ostatními řídicími jednotkami, které vyžadují změnu aktuálních provozních veličin, např. automatická převodovka, systém ESP nebo systém klimatizace. Management řídicí jednotky je navržen tak, že podporuje koncept řízení motoru pomocí více řídicích jednotek. Systém byl navržen pro motorizaci V10-TDI, která pracuje se dvěma EDC16.[10]

EDC17

V roce 2006 firma Bosch vyvinula novou generaci řídicích jednotek vznětového motoru EDC17, která je stále nejmodernější a nejvíce obsazovanou řídicí jednotkou současnosti. Díky velkému výpočetnímu výkonu lze jednotku využít ve všech automobilových segmentech. Řídicí jednotka umožňuje přesné řízení vstřikovaného paliva, regulaci recirkulace výfukových plynů, podporuje řadu dalších funkcí, např. ovládání procesů souvisejících se správnou činností filtrů pevných částic nebo systémů pro snížení oxidů dusíku.[2]

Řídicí jednotka EDC17 pro každý válec motoru definuje parametry vstřikování a na základě určitých měřených hodnot tyto parametry specificky upravuje. Díky tomuto systému je nejen zlepšena přesnost vstřikování ale i emise motoru, které jsou vyžadovány pro splnění velmi náročných emisních limitů.

2.3 Řízení a regulace[6]

Řídicí jednotka EDC je vlastně „řídicí a regulační jednotkou“. Pojem „řídicí jednotka“ se velmi prosadil i přesto, že obsahuje nemalé množství úkonů spojené s regulací.

Řízení

Řízení je cílevědomé působení řídicí jednotky na akční člen za účelem dosažení požadované hodnoty. Řízení se rozděluje na regulaci bez zpětné vazby nebo se zpětnou vazbou.

Regulace bez zpětné vazby

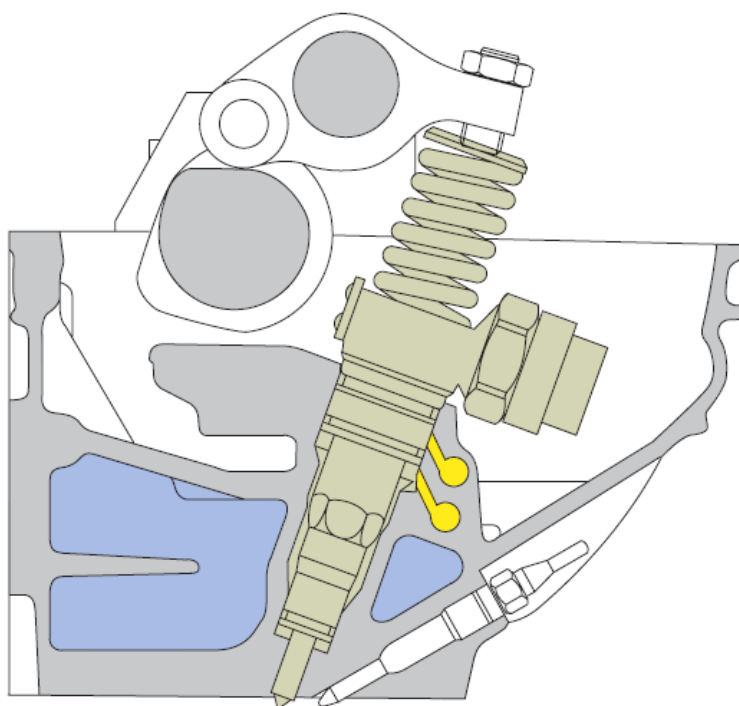
Výstupní řídicí signály pro akční členy jsou generovány v řídicí jednotce na základě vstupních veličin, polí konstant a různých výpočtů. Poloha, či stav akčního členu není nijak kontrolována - otevřená smyčka. Tento princip se používá např. pro ovládání žhavicích svíček.

Regulace se zpětnou vazbou

Základem regulace je uzavřená smyčka, která se skládá z regulátoru, akčních členů a snímačů. Skutečná hodnota je stále porovnávána s požadovanou hodnotou. Jakmile je regulační odchylka nenulová, regulátor obsažený v řídicí jednotce provede změnu výstupní hodnoty pro akční člen. Výhodou je, že jsou rozpoznány a zohledněny rušivé vlivy. Takto jsou např. regulovány otáčky motoru.

2.4 Vstřikování PD[7]

Každý válec motoru má v hlavě válců umístěnou samostatnou jednotku čerpadlo-tryska. To znamená, že tento typ vstřikování neobsahuje žádné vysokotlaké vedení paliva. Pohon vstřikovačů je zajištěn pomocí vačkového hřídele, která má navíc dodatečné palce pro vstřikovací jednotky.



Obrázek 2.3: Umístění vstřikovače v hlavě válců motoru[7]

Poměr směsi vzduchu a paliva je důležitým faktorem pro zajištění efektivního spalování a tím tedy výkonu motoru, spotřeby paliva a složení výfukových spalin. Musí být vstřikováno správné množství paliva ve správný čas vysokým tlakem. Minimální odchylky mohou vést k vyšší úrovni emisí znečišťujících látek či spotřebě paliva.

Pro kvalitu tvorby směsi jsou rozhodující tyto parametry vstřikování paliva:

- **počátek vstřiku,**
- **průběh a doba trvání vstřiku,**
- **vstřikovací tlak,**
- **počet vstřiků.**

Počátek vstřiku znamená aktivace solenoid ventilu vstřikovače, proud procházející cívkou uzavře přívod paliva do vstřikovače a tím začíná vstřikovací cyklus.

Před-vstřik paliva

K zajištění jemnějšího chodu vznětového motoru se vstřikuje malá část paliva nízkým tlakem ještě před hlavním vstřikovacím cyklem. Spalování tohoto malého množství paliva způsobí nárůst teploty ve válci. V intervalu mezi před-vstřikem a hlavním vstřikováním paliva se vytvoří postupné zvyšování tlaku ve válci. Tímto splníme požadavek rychlého vznícení hlavní

dávky paliva a redukuje zpoždění vznícení. To má za následek nižší hluk vznícení paliva a nižší emise oxidu dusíku. Funkce předvstřiku paliva je také podstatná v momentě zahřívání motoru v souvislosti se zvýšenou dávkou paliva v hlavním vstřiku a tedy udržením konstantních otáček. [5]

Hlavní vstřik paliva

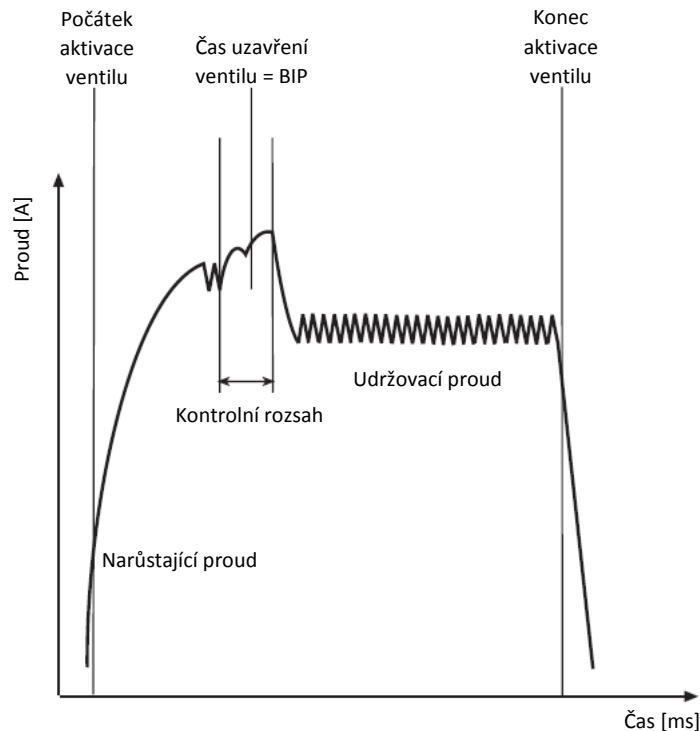
Hlavním požadavkem hlavního vstřiku je tvorba směsi, tak aby palivo kompletně shořelo. Vysoký tlak vstřikování vytvoří jemné rozprášení paliva, aby bylo možné kvalitní promíchání paliva a vzduchu. Vhodně vytvořená směs redukuje emise znečišťujících látek a zajišťuje vysokou účinnost motoru.

Konec vstřiku paliva

Na konci vstřikovacího procesu je důležité, aby vstřikovací tlak prudce klesl a tryska vstřikovače se rychle zavřela. Tím se zabrání vstřikování paliva nízkým tlakem, špatně rozprášeného paliva do válce. Palivo by nemělo vhodné podmínky pro dokonalé shoření, to by vedlo ke zvýšení emisí motoru.

Průběh elektrického proudu vstřikovačů

Řídicí jednotka motoru sleduje ovládací elektrický proud solenoid ventilu na každém vstřikovači. Tato informace dává řídicí jednotce zpětnou vazbu ohledně aktuálního začátku vstřikování. Díky této poloze jednotka reguluje tzv. BIP (Beginning of injection period).



Obrázek 2.4: Průběh proudu protékající cívkou vstřikovače[7]

Vstřikovací cyklus je zahájen, když elektromagnetický ventil vstřikovače je aktivován. Zvyšováním proudu cívky vstřikovače vytvoříme magnetické pole a ventil začne zavírat. Zákmit proudu značí dosednutí jehly ventilu vstřikovače do sedla. Tento bod se označuje BIP – zkratka pro začátek vstřikování. Když je ventil uzavřen, velikost proudu klesne na konstantní udržovací proud. Po uplynutí požadované délky vstřikování paliva, proud zanikne a ventil vstřikovače se otevírá.

Řídicí jednotka motoru využívá skutečný čas uzavření ventilu vstřikovače pro výpočet aktivačního bodu ventilu pro další cyklus. V případě, že se skutečná doba uzavření ventilu odchyluje od uložených hodnot v aplikačním softwaru řídicí jednotky, nastane korekce. Dále řídicí jednotka sleduje, zda hodnoty BIP jsou v rozsahu daném výrobcem motoru pro možnou detekci provozní poruchy ventilu vstřikovače. Pokud dojde k poruše solenoid ventilu vstřikovače, BIP bude ležet mimo rozsah hodnot, nebo bude probíhat regulace, ale bude nastavena fixní hodnota odvozena od charakteristické křivky.

2.5 Regulace přeplňování

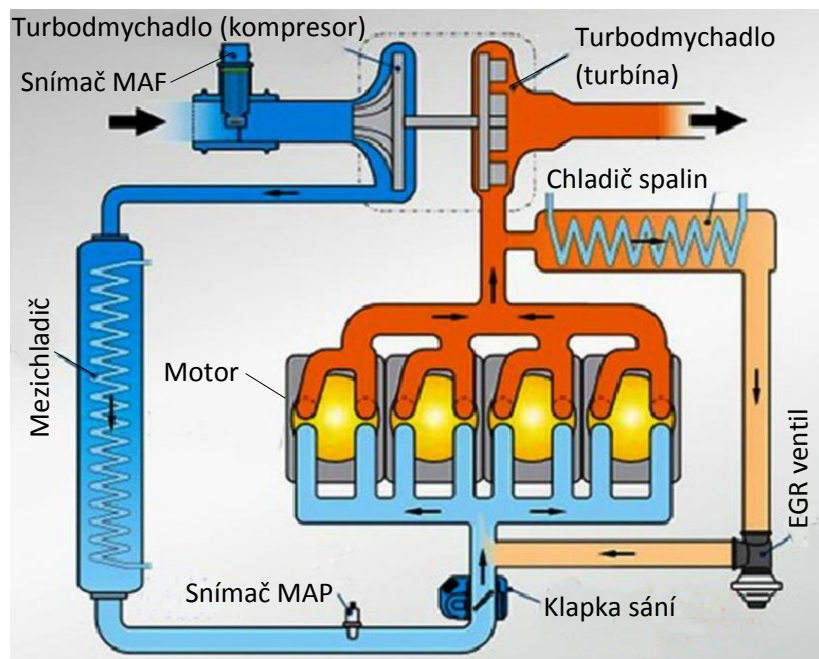
Regulace tlaku turbodmychadla zlepšuje jak průběh točivého momentu při maximálním zatížení, tak reakci na změnu přeplňování v částečném zatížení. Požadovaná hodnota plnicího tlaku závisí na otáčkách motoru a vstřikovaném množství paliva. Tato hodnota je porovnávána s aktuální hodnotou plnicího tlaku, která je měřena MAP senzorem na tlakovém vedení sání motoru. Při regulační odchylce těchto hodnot zasahuje zpravidla PID regulátor obsa-

žený v řídicí jednotce motoru, který aktivuje příslušný elmag. podtlakový ventil regulace na turbodmychadle. Typy regulací turbodmychadla[8]

- **VTG** - Variable Geometry Turbocharger. Řízení tlaku přepřínování se provádí změnou geometrie rozváděcích lopatek ve výfukové části turbodmychadla. Při požadavku velkého tlaku přepřínování při nízkých otáčkách motoru znamená natočení lopatek tak, aby došlo ke zmenšení průřezu toku výfukových plynů. Naopak při vysokých otáčkách motoru požadovaný tlak klesá, lopatky se postupně otevírají a tím je dosažena téměř nulová regulační odchylka plnicího tlaku.
- **Neřízený obtokový ventil** je ovládán plnicím tlakem turbodmychadla, který působí na membránu regulační baňky proti síle pružiny. Jakmile je dosažen požadovaný (maximální) plnicí tlak, obtokový ventil se otevře a část výfukových spalin je přepouštěno do výfuku.
- **Řízený obtokový ventil** pracuje na stejném principu jak neřízený, jen je na vedení ovládání regulační baňky doplněn elmag. ventil řízený řídicí jednotkou motoru.

2.6 Regulace EGR ventilu

Recirkulace výfukových spalin znamená, že část výfukových spalin je využita jiným způsobem. Protože tyto spaliny obsahují velmi malý obsah kyslíku, jsou pomocí řídicí jednotkou regulovaného ventilu přepouštěny zpět do sání motoru. Tím dosáhneme snížení teploty hoření směsi paliva a vzduchu, tedy redukce tvorby oxidů dusíku (NO_x). Množství recirkulovaných spalin závisí na otáčkách motoru, dávce vstřikovaného paliva, hmotnosti nasávaného vzduchu a teplotě motoru.[9]



Obrázek 2.5: Diagram recirkulace spalin[1]

Regulace recirkulace výfukových spalin je prováděna nepřímou, pomocí snímače hmotnosti nasávaného vzduchu. Tato aktuální hodnota je v řídicí jednotce porovnávána s teoretickou (předepsanou) hodnotou hmotnosti vzduchu. Čím nižší je skutečná hodnota ve srovnání s požadovanou hodnotou hmotnosti nasávaného vzduchu, tím více výfukových spalin je nasáváno. [6]

2.7 Složení emisí spalovacího motoru [8]

Katalyzátor je látka, která způsobuje chemickou reakci a přitom se sama nezmění. Při nedokonalém spalování vznikají škodlivé emise CO (oxid uhelnatý), HC (nespalené uhlovodíky) a NO_X (oxidy dusíku). Úkolem katalyzátoru je způsobit či urychlit přeměnu těchto látek na neškodné. Chemické reakce, které v katalyzátoru probíhají se dělí na:

- oxidační,
- redukční,
- třícestné.

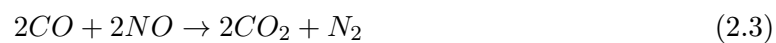
Oxidační:



kdy se oxid uhelnatý (CO) mění na oxid uhličitý (CO₂),



kdy se nespálené uhlovodíky (HC) mění na oxid uhličitý (CO₂) a vodní páru (H₂O). Redukční:



kdy se redukuje oxid dusnatý (NO) na dusík (N₂) a oxiduje oxid uhelnatý (CO) na oxid uhličitý (CO₂).

3. Analýza aplikačního softwaru řídicí jednotky

3.1 Metody vyčtení/zápisu aplikačního softwaru řídicích jednotek [3]

Existuje několik metod, jak vyčíst či zapsat aplikační software z FLASH paměti řídicí jednotky.

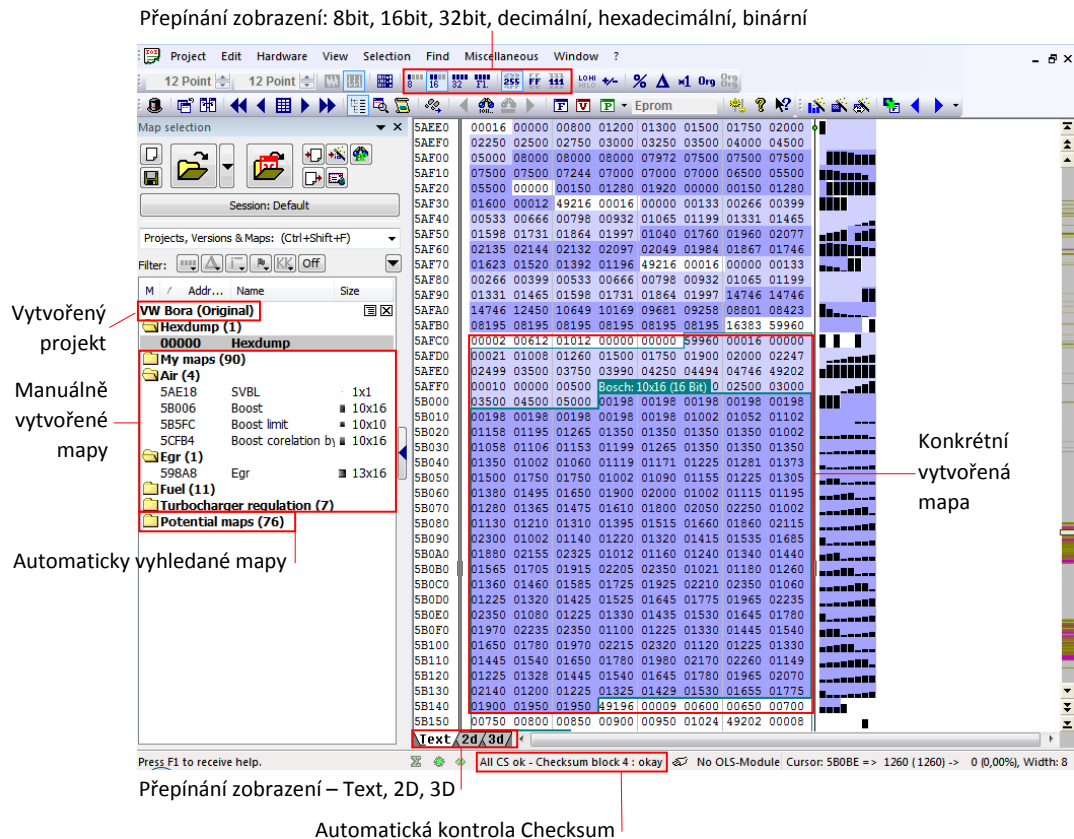
1. Čtení/zápis pomocí OBD - většina řídicích jednotek od roku 2000 jsou přepisovatelné pomocí OBD zásuvky vozidla. Je to jedna z nejjednodušších a nejrychlejších metod zápisu. Není třeba jednotku demontovat z automobilu, stačí použít příslušné zařízení podporované řídicí jednotkou automobilu, např. Kess V2 od firmy Alientech.
2. Čtení/zápis pomocí BDM - tato metoda lze použít pouze u modernějších jednotek, které jsou vyráběny od roku cca 2004 doposud. Např. od firmy Bosch, kde se jedná o typ EDC16. Jednotky na desce plošného spoje mají speciální komunikační port tzv. BDM port (Background Debug Mode). Je tedy nutné řídicí jednotku z vozidla demontovat a otevřít. Je to jedna z nejstabilnějších metod jak zapsat FLASH paměť řídicí jednotky. BDM se také používá na komplexní zálohy FLASH, micro FLASH a EEPROM paměti řídicí jednotky. Pro čtení či zápis je vhodné použít speciální stojánek pro přesné umístění řídicí jednotky, adaptéry na příslušné typy řídicích jednotek a příslušné zařízení, např. BDM100 od firmy EVC.
3. Čtení/zápis pomocí Boot mode – tuto metodu můžeme rozdělit podle generací jednotek. U starších, např. EDC15 se používá při opravě, případně špatně zapsaného aplikačního softwaru do paměti, kdy není možný klasický přenos přes OBD. Řídicí jednotku je nutné demontovat z vozidla, otevřít a využít „bootovací“ pin dle typu jednotky. Zápis dat provedeme pomocí OBD.

U nových generací řídicích jednotek, např. EDC17 od firmy Bosch, se jedná o zápis tzv. uzamčených jednotek s mikrokontroléry Tricore. Jedná se o jednotky montované od roku cca 2009, kdy výrobce chrání svá data a použil tzv. „tuningovou ochranu“ k zamezení přenosu dat pomocí OBD. Jednotku je nutné z vozidla demontovat, otevřít a připojit speciální zařízení na příslušné konektory a piny na desce plošného spoje.

4. Pájení a čtení/zápis pomocí programátoru – tato metoda je používána hlavně u starších typů řídicích jednotek. Jednotku je nutné demontovat z vozidla, otevřít ji a příslušnou paměť vypájet pomocí horkovzdušné pájecí stanice, případně infra pájecí stanice. Pro vyčtení/zápis paměti se používá EEPROM/FLASH programátor např. Beeprog od firmy Eltec. Poté je nutné paměť napájet zpět do řídicí jednotky.

3.2 Software WinOLS

WinOLS je program, který je navržen k úpravám obsahu paměti (FLASH, micro FLASH, EEPROM) řídicích jednotek motoru. Usnadňuje vyhledání či vytvoření polí konstant, tzv. map, které můžou být pojmenovány a upraveny pro co nejlepší zobrazení.



Obrázek 3.1: Okno programu WinOLS

Vytvoření projektu

Obsah importovaného souboru a všechna data jsou uložena v projektu. Zdrojem projektu může být obsah paměti EPROM či Flash nebo obsah vyčtený BDM nebo BSL modulem. Dále zde můžeme doplnit informace o vozidle případně majiteli, které se uloží do databáze.

The screenshot shows the WinOLS database creation software interface. It is organized into several sections with various input fields:

- Client:**
 - Name: [Tomas Klein]
 - Customer: [e.g. 12345]
 - Licence plate: [e.g. WES-H4900]
 - VIN: [e.g. WAUZZZ8E35A23542]
- Vehide:**
 - Type: [Passenger car]
 - Producer: [VW]
 - Series: [Bora]
 - Build: [e.g. 6]
 - Model: [1.9Tdi]
 - Characteristic: [e.g. R20]
 - Model year: [2001]
- User defined:**
 - User 1: []
 - User 2: []
 - User 3: []
 - User 4: []
 - User 5: []
- ECU:**
 - Use: [Engine]
 - Elements: [Eprom]
 - Producer: [Bosch]
 - Build: [e.g. EDC16C31]
 - ECU-Nr. Prod.: [038906019HJ]
 - ECU-Nr. ECU: [0281010977]
 - Software: [360004]
 - ...version: [e.g. 0003]
 - Software size: [80000]
 - Checksum: [Bosch TDI V4.1]
 - Processor: [Siemens C167CR]
- Engine:**
 - Name: [1.9Tdi]
 - Type: [Turbo-diesel]
 - Displacement: [1,9] L
 - Output: [130.0] PS [95.6] KW
 - Gear: [6]
 - Emission std.: [Euro 3]
- File:**
 - File: [DIAGNOSTIK-PC_10004.ols]
 - Folder: [C:\Users\Diagnostik\Documents]
 - Created: [9.6.2012 (02:00:00)]
 - ...by: [Tomas]
 - Changed: [4.4.2017 (12:33:14)]
 - ...by: [Tomas,Diagnostik]
 - 8-Bit sum: [1330 (Cpu:0000 Eprom:1330)]
 - Project state: [in development]
 - Map lang.: []
- Reseller:**
 - Price: [empty = 10] Credits
 - Project type: [e.g. Map Pack]
 - Details: [e.g. +25 PS]
- Communications:**
 - Read hardware: []
 - Project type: [Binary data]
 - ☐ Noread marker
 - ☐ Spi marker
 - ☐ Bdm/Bsl protection
 - ☐ User tag: []

Obrázek 3.2: Programové okno pro tvorbu databáze

Nahrany soubor v projektu je automaticky pojmenován jako „originál“. WinOLS umožňuje vytvořit několik verzí s různými úpravami, mezi kterými je možnost přepínání.

Vyhledávání map

Po založení nového projektu software WinOLS automaticky začne vyhledávat mapy, které se následně uloží do vytvořené složky „Potential maps“. Tyto mapy můžeme následně upravit do vhodnější formy – pojmenováním, doplnění názvů jednotlivých os, doplnění jednotek, případně upravení zobrazení.

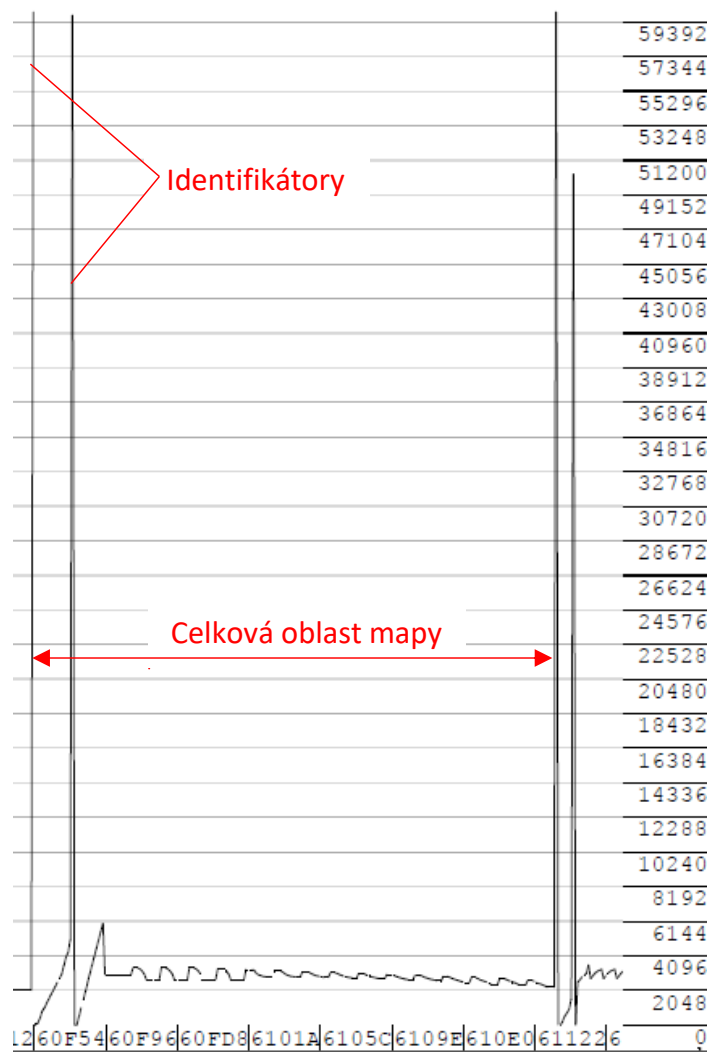
Příklad automaticky vyhledané mapy byl proveden na mapě počátku vstřikování paliva zobrazené na obrázku č. 3.3

	- (,) / -												
	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000
100	2987	2987	2987	2987	2987	2987	2987	2987	2987	2987	2987	2987	2987
400	3371	3371	3371	3307	3200	3020	2688	2688	2688	2688	2688	2688	2688
800	3371	3371	3371	3307	3200	3020	2688	2688	2688	2688	2688	2688	2688
1000	3371	3371	3371	3307	3200	3020	2688	2688	2688	2688	2688	2688	2688
1250	3307	3307	3307	3307	3200	3020	2688	2688	2688	2688	2688	2688	2688
1500	3264	3264	3264	3264	3200	3020	2955	2903	2870	2848	2837	2837	2837
1750	3200	3200	3200	3200	3117	3020	2954	2903	2870	2848	2837	2837	2837
2000	3136	3136	3136	3136	3042	2985	2925	2892	2859	2837	2806	2806	2806
2250	3084	3084	3084	3051	2984	2942	2880	2849	2816	2795	2773	2773	2773
2500	3031	3031	3031	2998	2927	2892	2837	2806	2773	2751	2730	2730	2730
2750	2976	2976	2976	2943	2883	2843	2789	2753	2724	2698	2676	2676	2676
3000	2944	2944	2944	2902	2839	2796	2743	2710	2678	2645	2624	2624	2624
3500	2869	2869	2869	2816	2754	2705	2658	2614	2581	2540	2509	2509	2509
4000	2795	2795	2795	2732	2667	2615	2574	2530	2479	2410	2410	2410	2410
4250	2753	2753	2753	2693	2629	2573	2531	2488	2437	2359	2359	2359	2359

Obrázek 3.3: Automaticky vyhledaná mapa počátku vstřikování paliva pomocí programu WinOLS

WinOLS automaticky neidentifikuje o jakou mapu se jedná, označení je u všech map stejné, "Map Bosch 16". Pro snadnější a rychlejší práci je vhodné žádané mapy pojmenovat a upravit do přehlednější formy. Další možností je importování souboru Damos, který okomentuje jednotlivá místa v datovém poli konstant.

Mapy lze přidávat i manuálně. To vyžaduje hlubší znalosti a zkušenosti pro správné rozpoznání jednotlivých oblastí datového pole. U tohoto programu existují 3 možnosti zobrazení datových polí - textové, 2D a 3D. Nejdříve je nutné správně nastavit zobrazení hodnot, na výběr je zde 8bit, 16bit, 32bit zobrazení hodnot a to v decimálních, hexadecimálních a binárních hodnotách. Volíme dle typu mikrokontroléru řídicí jednotky.



Obrázek 3.5: 2D zobrazení datového pole obsahující mapu počátku vstřikování paliva pomocí programu WinOLS

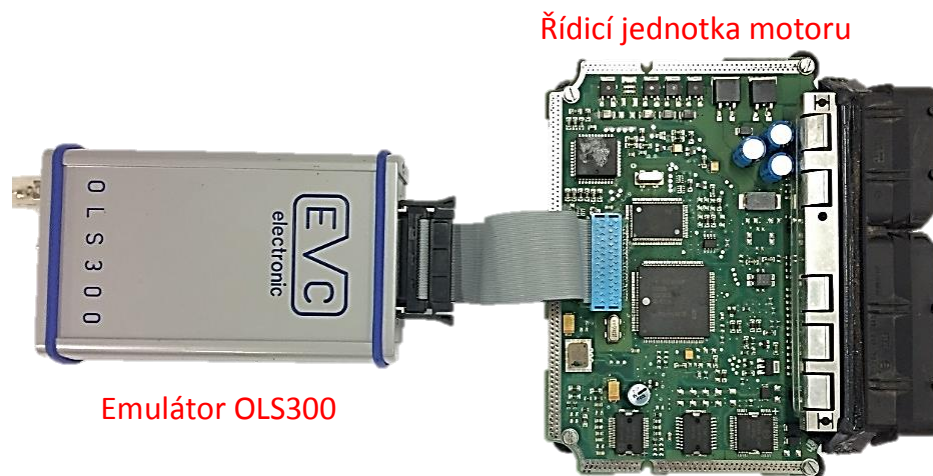
Obrázek 3.6: Nastavení zobrazení mapy počátku vstřikování paliva v programu WinOLS

WinOLS nabízí pro lepší zobrazení již vytvořené mapy celou řadu nastavení. Jedno z nejdůležitějších nastavení je nastavení faktoru a offsetu. Faktor je hodnota, kterou je celá oblast násobena. Offset je hodnota, která je přičítána k celé oblasti. Používá se např. pro zobrazení úhlu [°] či teploty [°C]. Pro správné zobrazení hodnot v mapě počátku vstřikování paliva je nutné mapu vynásobit faktorem -0,023437 a přičíst hodnotu 78. Nastavení zobrazení mapy je zobrazeno na obrázku č. 3.6

Poslední možnost zobrazení je 3D. To lze využít pro kontrolu či jemnou úpravu konkrétní mapy.

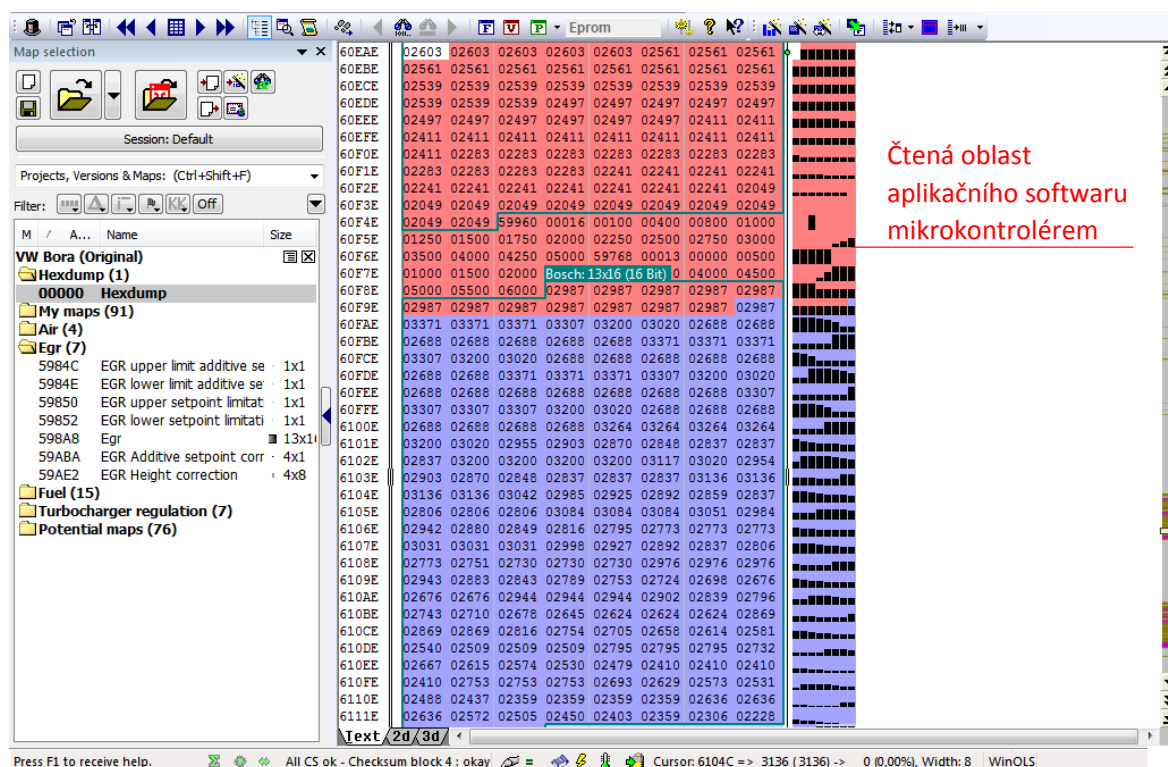
3.3 Emulátor OLS300

OLS300 je dodatekový modul od firmy EVC, který dokáže emulovat FLASH paměť řídicí jednotky motoru. Ve spojení se softwarem WinOLS je možné měnit veškeré parametry z emulované paměti za běhu motoru. Emulátor podporuje několik typů pamětí, např. paměti s pouzdrem SOP44, tedy řadu 28F100-400 a 29F100-800.



Obrázek 3.7: Řídicí jednotka motoru s připojeným emulátorem OLS300

Obrázek 3.7 zobrazuje připojení emulátoru OLS300 k řídicí jednotce EDC15P+. Originální FLASH paměť byla vypájena a nahrazena speciálními propojovacími piny pro modul OLS 344, prostřednictvím kterého můžeme připojit emulátor OLS300.



Obrázek 3.8: Oblast čtení mikrokontroléru řídicí jednotky motoru

Originální obsah FLASH paměti byl z vozidla vyčten flasherem pomocí OBD před demontáží řídicí jednotky z automobilu. Následně byl importován do programu WinOLS, tímto byl založen projekt potřebný pro práci s emulátorem. Ten komunikuje s PC pomocí USB.

Ve WinOLS je nutné správně zadat informace o emulované FLASH paměti - velikost, počet bitů, výrobce a přesné označení.

Type	Producer	Volt
40-Pin 4 MB		12.5
Am27C4096	AMD	12.5
Am29F400xB	AMD	5.0
Am29F400xT	AMD	5.0
Am29LV400BB	AMD	5.0
Am29LV400BT	AMD	5.0
D28F400-B	Intel	12.5
D28F400-T	Intel	12.5
M27C4002	SGS-Thoms.	12.5

Manufacturer	Name	Version	BatronixId
AMD	AM29F400BT	TSOP 48 (12x20m...	3715
AMD	AM29F400BT	SOP 44	3714

Obrázek 3.9: Nastavený typ emulované paměti řídicí jednotky EDC15P+

Každý aplikační software řídicí jednotky obsahuje několik bloků checksum bodů - kontrolních součtů. Checksum je doplňková informace, která slouží k ověření, zda je daný blok kompletní. Analyzovaný aplikační software obsahuje 7 checksum bloků. Pokud chceme provádět změny (úpravy) dat za běhu motoru, je nutné provést korekci těchto bloků. Jinak mikrokontrolér vyhodnotí chybu a přestane pracovat.

Firma EVC nabízí možnost dokoupení pluginu pro automatické výpočty checksum. Pro řídicí jednotky EDC15P+, které byly vyráběny ve dvou generacích Bosch TDI V4.1 a v roce 2002 V4.1-2002 jsou potřebné pluginy OLS233, případně OLS264.

3.4 Analýza aplikačního softwaru řídicí jednotky EDC15P+

Zkoumaný aplikační software je vyčtený z vozidla, obsahující řídicí jednotku Bosch EDC15P+, originální číslo dílu: 038906019HJ, softwarová verze 360004. Po načtení obsahu paměti do programu WinOLS bylo nutné najít a rozpoznat jednotlivé mapy, udávající parametry motoru. Analyzovaný aplikační software byl pro přehlednost rozdělen do 3 oblastí - vstřikované palivo, přeplňování a regulace EGR ventilu.

Oblast vstřikovaného paliva

Základní mapou je požadované množství vstřikovaného paliva - mapa plynového pedálu. Výsledná hodnota je velmi důležitá pro další řídicí a regulační procesy řídicí jednotky motoru (např. určení požadované délky vstřikování paliva, určení požadovaného plnicího tlaku, atd.).

%	Driver wish (Pedal position, Rpm) /mg/str							
	1	4	10	25	37	56	80	100
min-1								
0	18,70	41,90	46,00	54,00	61,70	68,90	70,00	70,00
399	7,70	27,88	33,34	41,20	49,50	62,70	70,00	70,00
609	0,00	19,62	25,80	34,70	43,60	59,10	70,00	70,00
693	0,00	16,00	22,70	32,00	41,40	57,60	70,00	70,00
798	0,00	11,40	19,00	28,20	37,60	56,30	70,00	70,00
903	0,00	6,60	14,50	24,60	33,90	54,70	70,00	70,00
1008	0,00	4,90	9,00	21,00	30,30	53,10	70,00	70,00
1113	0,00	3,80	7,00	18,35	27,20	51,32	69,00	70,00
1218	0,00	2,80	5,75	15,70	24,60	49,60	68,00	70,00
1491	0,00	1,50	3,50	11,50	20,66	45,60	66,00	70,00
1995	0,00	0,80	2,10	9,00	17,00	41,32	62,00	70,00
2499	0,00	0,70	2,00	7,50	15,00	38,32	59,50	70,00
3003	0,00	0,50	1,50	6,50	13,00	35,50	57,28	67,84
3990	0,00	0,00	1,00	4,99	10,90	31,88	52,78	64,40
4998	0,00	0,00	0,00	2,62	7,88	26,66	45,78	59,96
5355	0,00	0,00	0,00	0,50	1,10	20,50	29,50	45,46

Obrázek 3.10: Požadované množství vstřikovaného paliva

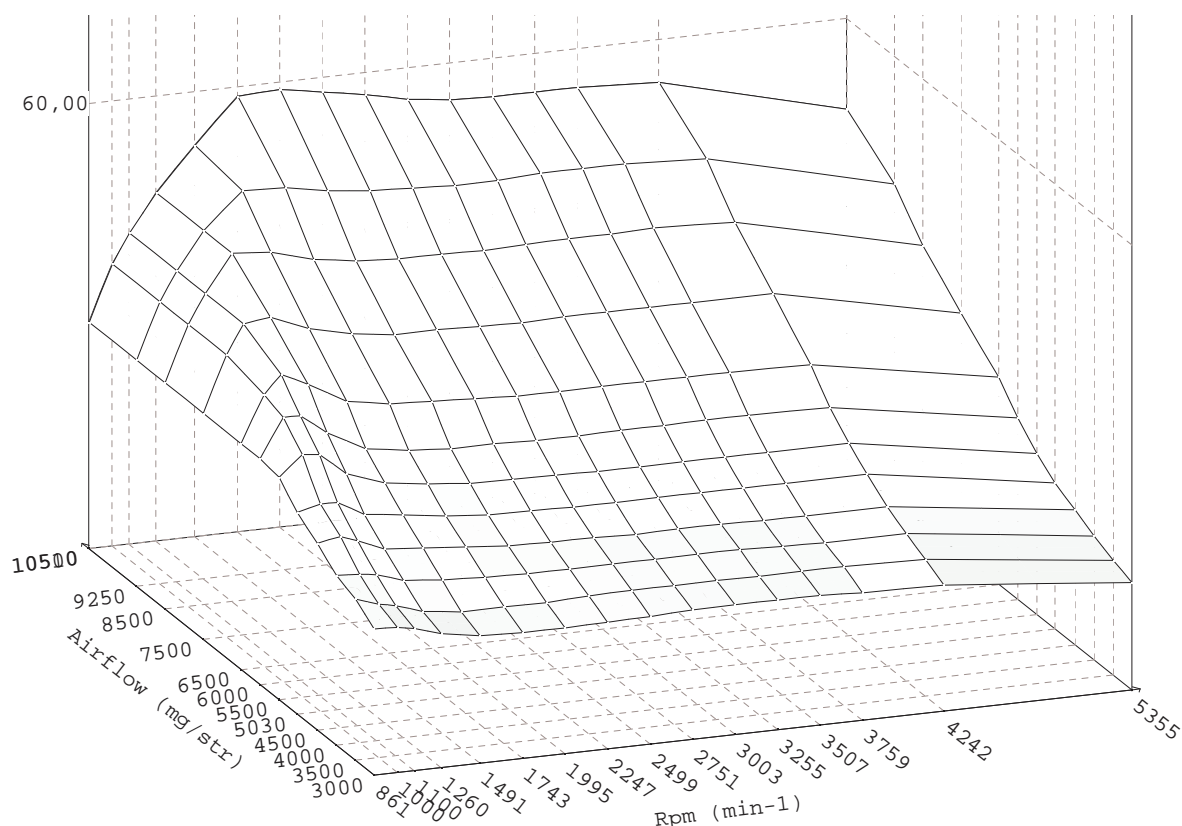
Tato mapa udává požadovanou hodnotu vstřikované dávky paliva [mg/str] pro danou hodnotu stlačení plynového pedálu [% , osa X] a pro dané aktuální otáčky motoru [ot/min, osa Y]. Tato hodnota je dále upravována (limitována) dvojicí omezovacích map - omezovač točivého momentu a omezovač kouřivosti.

g/str min-1	Smoke limiter (Airflow, Rpm) /mg/str											
	300	350	400	450	503	550	600	650	750	850	925	1050
861	19,72	21,72	22,95	25,25	27,25	30,00	30,50	30,50	30,50	30,50	30,50	30,50
1000	19,60	20,67	22,70	25,75	28,00	32,75	35,75	36,75	38,00	38,00	38,00	38,00
1150	19,25	20,25	22,45	25,02	28,00	32,52	35,75	39,25	42,00	42,00	42,00	42,00
1260	18,10	19,07	21,25	23,50	26,00	29,50	33,00	37,50	42,50	47,00	47,00	47,00
1400	17,25	18,43	20,68	23,00	25,30	27,62	30,20	34,60	40,28	46,53	51,75	52,75
1500	17,00	18,50	20,40	22,50	24,50	26,92	29,40	33,65	39,00	44,90	51,50	58,75
1750	17,00	18,40	20,30	22,00	24,00	26,32	28,95	33,35	38,23	44,06	50,50	59,00
2000	17,10	18,60	20,20	21,80	23,90	26,20	29,00	33,00	38,20	43,68	49,75	58,00
2499	17,20	18,75	20,30	21,80	23,75	26,15	28,75	32,75	38,00	43,65	49,50	57,00
2751	17,50	18,75	20,25	21,60	23,75	25,95	28,75	32,75	37,85	43,50	49,25	55,75
3003	17,50	18,75	20,30	21,65	23,75	25,90	28,80	32,75	38,00	43,66	49,25	55,00
3255	17,50	18,70	20,25	21,65	23,75	26,00	28,85	32,75	38,00	43,82	49,57	54,75
3507	17,50	18,75	20,10	21,50	23,75	26,00	29,00	32,75	38,00	43,82	49,57	54,75
3759	17,20	18,75	19,95	21,50	23,75	26,00	29,00	32,75	38,00	43,98	49,57	54,75
4242	17,00	18,50	19,90	21,50	23,75	26,00	28,75	32,50	38,00	43,50	49,00	54,25
5355	14,50	15,50	16,75	18,25	19,75	21,75	24,50	28,00	32,50	37,50	42,75	47,75

Obrázek 3.11: Omezení kouřivosti pomocí snímače hmotnosti nasávaného vzduchu

Omezení točivého momentu udává maximální množství vstřikovaného paliva v jednotlivých otáčkách pro dané hodnoty atmosferického tlaku. K omezení kouřivosti je standardně využívána hodnota čtená snímačem hmotnosti nasávaného vzduchu. Podle aktuální čtené hodnoty řídicí jednotka omezuje vstřikované množství paliva. Tato mapa je aktivní hlavně v době akcelerace vozidla. Pokud je náhle sešlápnut plynový pedál vozidla, okamžitě dojde

ke změně požadovaného množství vstřikovaného paliva, ale reakce turbodmychadla není okamžitá, ale zpožděná. V ten moment musí reagovat omezení z důvodu nedostatečného množství nasávaného vzduchu - omezovač kouřivosti.



Obrázek 3.12: Omezení kouřivosti - 3D pohled

Další velmi důležitou mapou oblasti vstřikovaného paliva je počátek vstřikování paliva, obrázek 3.13

g/str min-1	Start of injection(Amount of fuel,Rpm) /°												
	0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0
100	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
400	-1,0	-1,0	-1,0	0,5	3,0	7,2	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
800	-1,0	-1,0	-1,0	0,5	3,0	7,2	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
1000	-1,0	-1,0	-1,0	0,5	3,0	7,2	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
1250	0,5	0,5	0,5	0,5	3,0	7,2	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
1500	1,5	1,5	1,5	1,5	3,0	7,2	8,7	10,0	10,7	11,3	11,5	11,5	11,5
1750	3,0	3,0	3,0	3,0	4,9	7,2	8,8	10,0	10,7	11,3	11,5	11,5	11,5
2000	4,5	4,5	4,5	4,5	6,7	8,0	9,4	10,2	11,0	11,5	12,2	12,2	12,2
2250	5,7	5,7	5,7	6,5	8,1	9,0	10,5	11,2	12,0	12,5	13,0	13,0	13,0
2500	7,0	7,0	7,0	7,7	9,4	10,2	11,5	12,2	13,0	13,5	14,0	14,0	14,0
2750	8,3	8,3	8,3	9,0	10,4	11,4	12,6	13,5	14,2	14,8	15,3	15,3	15,3
3000	9,0	9,0	9,0	10,0	11,5	12,5	13,7	14,5	15,2	16,0	16,5	16,5	16,5
3500	10,8	10,8	10,8	12,0	13,5	14,6	15,7	16,7	17,5	18,5	19,2	19,2	19,2
4000	12,5	12,5	12,5	14,0	15,5	16,7	17,7	18,7	19,9	21,5	21,5	21,5	21,5
4250	13,5	13,5	13,5	14,9	16,4	17,7	18,7	19,7	20,9	22,7	22,7	22,7	22,7

Obrázek 3.13: Mapa počátku vstřikování paliva

Počátek vstřikování paliva je dán ve stupních natočení váčkového hřídele. Osa X udává požadované množství vstřikovaného paliva [mg/str], osa Y aktuální otáčky motoru [ot/min].

Úhel počátku vstřikování paliva je hodnota, podle které je dále vybírána oblast délky vstřikování paliva, která je rozdělena do šesti map, délka vstřikování paliva 0 až 5.

min-1 mg/str	Injection Duration 0 (Rpm, Amount of fuel) / °									
	800	1000	1500	2000	3000	3500	3800	4000	4500	5000
10	6,11	5,64	4,63	3,70	4,77	4,96	5,03	5,03	4,45	3,77
15	6,90	6,53	6,18	5,64	7,25	8,03	8,03	8,19	7,98	7,77
20	7,98	7,70	7,51	7,25	9,87	11,21	11,51	11,51	8,35	11,54
25	9,08	8,89	9,08	9,08	12,73	13,81	14,23	14,32	10,83	14,27
30	10,13	10,13	10,90	11,09	14,81	16,05	16,43	15,47	14,95	16,43
35	11,63	12,03	12,89	15,98	18,18	18,98	19,16	19,16	19,19	19,05
40	14,13	14,74	15,94	18,21	20,15	20,83	21,15	21,34	21,81	22,23
45	17,69	18,58	19,49	20,55	22,11	23,00	23,40	23,66	24,10	24,69
50	19,87	20,66	21,62	22,60	24,50	25,37	25,79	26,02	26,51	27,07
55	21,55	22,35	23,54	24,62	26,44	27,12	27,50	27,75	28,27	28,74

Obrázek 3.14: Mapa délky vstřikování paliva 0

Mapa délky vstřikování paliva určuje, kolik stupňů otočení vačkového hřídele v daných otáčkách [ot/min, osa X] je potřeba ke vstřikování požadovaného množství paliva [mg/str, osa Y].

Oblast přeplňování

Základem, pro regulaci turbodmychadla je mapa požadované hodnoty tlaku nasávaného vzduchu. Osa X zobrazuje požadované množství vstřikovaného paliva [mg/str], osa Y aktuální otáčky motoru [ot/min]. Hodnoty požadovaného tlaku jsou absolutní, tedy včetně atmosférického tlaku. Tato referenční požadovaná hodnota je dále omezována pomocí tzv. limiterů (omezovačů).

g/str min-1	Boost (Amount of fuel, Rpm) / mbar									
	0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	45,0	50,0
0	198	198	198	198	198	198	198	198	198	198
21	1002	1052	1102	1158	1195	1265	1350	1350	1350	1350
1008	1002	1058	1106	1153	1199	1265	1350	1350	1350	1350
1260	1002	1060	1119	1171	1225	1281	1373	1500	1750	1750
1500	1002	1090	1155	1225	1305	1380	1495	1650	1900	2000
1750	1002	1115	1195	1280	1365	1475	1610	1800	2050	2250
1900	1002	1130	1210	1310	1395	1515	1660	1860	2115	2300
2000	1002	1140	1220	1320	1415	1535	1685	1880	2155	2325
2247	1012	1160	1240	1340	1440	1565	1705	1915	2205	2350
2499	1021	1180	1260	1360	1460	1585	1725	1925	2210	2350
3500	1060	1225	1320	1425	1525	1645	1775	1965	2235	2350
3750	1080	1225	1330	1435	1530	1645	1780	1970	2235	2350
3990	1100	1225	1330	1445	1540	1650	1780	1970	2215	2320
4250	1120	1225	1330	1445	1540	1650	1780	1980	2170	2260
4494	1149	1225	1328	1445	1540	1645	1780	1965	2070	2140
4746	1200	1225	1325	1429	1530	1655	1775	1900	1950	1950

Obrázek 3.15: Mapa požadovaného tlaku přeplňování

min-1 mbar	Boost limit (Rpm, Atmospheric pressure) /mbar									
	1490	1743	1911	2247	2499	3003	3507	3990	4242	4494
600	1600	1900	1950	1975	1975	1975	1925	1750	1650	1550
650	1650	1950	2000	2025	2025	2025	1975	1825	1725	1625
700	1700	2000	2050	2075	2075	2075	2025	1875	1775	1675
750	1750	2050	2100	2125	2125	2125	2075	1910	1815	1715
800	1800	2100	2150	2185	2200	2200	2150	2005	1905	1805
850	1850	2150	2200	2225	2240	2240	2225	2085	2000	1900
900	1900	2200	2250	2275	2275	2275	2275	2200	2100	2000
950	1950	2250	2300	2350	2350	2350	2350	2300	2225	2125
980	2000	2300	2350	2400	2400	2400	2400	2350	2275	2175
1100	2000	2300	2350	2400	2400	2400	2400	2350	2275	2175

Obrázek 3.16: Mapa limitace tlaku přeplňování

Mapa limitace tlaku, která je zobrazená na obrázku 3.16 je v řídicí jednotce obsažena z bezpečnostního hlediska. Udává maximální možný tlak přeplňování na základě atmosférického tlaku (osa Y). Pokud by takové omezení nebylo řešeno, docházelo by k nadměrnému zatěžování turbodmychadla. Běžná hodnota atmosférického tlaku se pohybuje v rozmezí 935 až 1055 mbar. Postupné omezování požadovaného plnicího tlaku začíná od hodnoty 950 mbar atmosférického tlaku.

Stlačením nasávaného vzduchu kompresorem turbodmychadla, vznikne velký nárůst teploty vzduchu proudícího do sání motoru. Proto se v moderních automobilech umísťuje na tlakové vedení vzduchu mezi turbodmychadlo a sání motoru mezichladič stlačeného vzduchu. Ten má za úkol snížit tuto teplotu a několik desítek °C. Tato teplota je měřena snímačem teploty nasávaného vzduchu, který je často umístěn přímo na výstupu mezichladiče.

°C mbar	Boost corelation by intake temperature(Intake temperature,Boost) /mbar									
	-20	-10	-0	10	20	30	40	50	60	70
800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800
900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900
1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300
1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400
1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600
1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700
1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800
1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900
2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200
2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500

Obrázek 3.17: Mapa korekce tlaku přeplňování na základě teploty nasávaného vzduchu

Řídicí jednotka obsahuje mapu (obrázek 3.17) omezení plnicího tlaku pro danou teplotu nasávaného vzduchu [°C, osa X] a danou požadovanou hodnotu tlaku nasávaného vzduchu

[mbar, osa Y]. Tato mapa nerealizuje korekce plnicího tlaku, hodnoty tlaku nasávaného vzduchu na ose Y odpovídají příslušné hodnotě tlaku nasávaného vzduchu pro jednotlivé teploty. U modernější řídicí jednotky EDC16 je tato mapa aktivně využívána a omezení přichází nad 65°C teploty nasávaného vzduchu.

min-1 mg/str	N75 Duty cycle (Rpm, Amount of fuel) / %									
	760	780	1000	1150	1350	1500	1650	1743	1911	2058
0,0	25,0	25,0	25,0	25,0	28,0	34,0	37,0	39,0	41,5	43,5
5,0	25,0	25,0	25,0	25,0	28,0	34,0	37,0	39,0	41,5	43,5
10,0	25,0	25,0	25,0	25,0	28,0	34,0	37,0	39,0	41,5	43,5
15,0	20,0	20,0	20,0	20,0	28,0	37,3	40,7	42,7	46,0	48,4
20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	28,0	40,3	43,2	45,2	48,5	50,9
25,0	20,0	20,0	20,0	20,0	28,0	42,3	45,4	47,2	50,5	53,1
30,0	20,0	20,0	20,0	20,0	31,0	44,3	47,6	49,6	52,4	54,9
35,0	20,0	20,0	20,0	20,0	35,0	45,6	49,6	53,3	54,3	56,8
40,0	20,0	20,0	20,0	20,0	38,0	47,0	52,1	59,0	60,8	61,3
45,0	20,0	20,0	20,0	20,0	40,0	47,0	52,8	59,3	62,0	63,8
50,0	20,0	20,0	20,0	20,0	40,0	47,0	54,0	57,4	61,8	66,1
55,0	20,0	20,0	20,0	20,0	40,0	47,0	54,9	56,8	60,7	66,0
58,0	20,0	20,0	20,0	20,0	40,0	48,0	54,9	56,9	61,7	65,0

Obrázek 3.18: Mapa VTG řízení turbodmychadla

Mapa zobrazená na obrázku 3.18 je velmi důležitá pro regulaci plnicího tlaku. Udává požadované nastavení geometrie lopatek turbodmychadla [%] pro dané otáčky motoru [ot/min, osa X] a dané vstřikované množství paliva [mg/str, osa Y]. Z důvodu velkého rozměru byla tato mapa pro lepší zobrazení zkrácena o otáčky 2247, 2499, 3003, 3507, 3990 a 4242 ot/min. Následně do regulace plnicího tlaku zasahuje integrovaný PID regulátor, který porovnává aktuální a požadovaný tlak nasávaného vzduchu který je měřen pomocí snímače MAP na tlakovém vedení sání motoru a na základě regulační odchylky upravuje hodnotu nastavení regulace turbodmychadla. Elektrický signál z výstupních obvodů řídicí jednotky je dále převeden elmag. ventilem N75 na hodnotu podtlaku, kterým je skrze regulační baňku regulován plnicí tlak.

Nastavení regulátoru zobrazené v tabulce 3.1 je aktivní pouze tehdy, pokud regulační odchylka tlaku nasávaného vzduchu je vyšší než je hodnota 150 mbar. Jinak je aktivní statický regulátor s pevně nastaveným zesílením pro kladnou a zápornou regulační odchylku.

Tabulka 3.1: Nastavení PID regulátoru regulace turbodmychadla

Množství vstřikova- ného paliva [mg/str]	Zesílení proporcio- nálního členu [K_p]	Časová kon- stanta integra- čního členu [τ_i]	Časová kon- stanta derivač- ního členu [τ_d]
0,0	0,6020	0,0700	0,1040
5,0	0,5650	0,0700	0,1960
10,0	0,4080	0,1520	0,2135
15,0	0,3666	0,1872	0,2132
25,0	0,3130	0,2104	0,1867
30,0	0,3040	0,2232	0,1623
37,5	0,3040	0,2104	0,1196

Oblast regulace EGR ventilu

U motorizace TDI-PD je EGR ventil nepřímě regulován podle mapy (obrázek 3.19) požadované hmotnosti nasávaného vzduchu. Osa X udává požadované množství vstřikovaného paliva [mg/str], osa Y aktuální otáčky motoru [ot/min]. Skutečná hodnota hmotnosti nasávaného vzduchu je měřena prostřednictvím snímače hmotnosti nasávaného vzduchu, který je důležitý právě k regulaci EGR ventilu. Elektrický signál z výstupních obvodů řídicí jednotky je dále převeden na hodnotu podtlaku pomocí elmag. ventilu N18, který mechanicky otevírá a uzavírá přísun výfukových spalin do sání motoru. Regulaci zajišťuje PI regulátor implementovaný v řídicí jednotce, který pracuje se třemi hodnotami nastavení jednotlivých složek regulátoru.

g/str min-1	Egr(Amount of fuel,Rpm)/mg/str												
	0,0	3,0	7,4	10,0	12,4	15,0	17,4	20,0	22,4	25,0	29,0	33,0	51,0
0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0
760	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0
780	250,0	250,0	270,0	290,0	380,0	450,0	515,0	545,0	585,0	850,0	850,0	850,0	850,0
903	250,0	250,0	270,0	290,0	380,0	450,0	515,0	545,0	585,0	850,0	850,0	850,0	850,0
1000	250,0	250,0	270,0	290,0	380,0	450,0	515,0	545,0	585,0	650,0	850,0	850,0	850,0
1239	250,0	250,0	270,0	310,0	395,0	450,0	515,0	545,0	585,0	615,0	850,0	850,0	850,0
1386	250,0	250,0	270,0	310,0	395,0	450,0	500,0	540,0	575,0	605,0	655,0	850,0	850,0
1491	250,0	250,0	270,0	310,0	390,0	440,0	490,0	530,0	565,0	600,0	630,0	850,0	850,0
1596	250,0	250,0	270,0	310,0	380,0	430,0	480,0	520,0	555,0	590,0	620,0	850,0	850,0
1743	250,0	250,0	270,0	310,0	370,0	425,0	475,0	515,0	555,0	585,0	615,0	850,0	850,0
1995	250,0	250,0	270,0	310,0	370,0	425,0	475,0	515,0	555,0	585,0	615,0	850,0	850,0
2247	250,0	250,0	270,0	310,0	370,0	425,0	475,0	515,0	555,0	585,0	615,0	850,0	850,0
2600	260,0	270,0	290,0	325,0	385,0	445,0	495,0	540,0	580,0	610,0	640,0	850,0	850,0
3423	348,3	406,7	430,0	480,0	535,0	600,0	650,0	690,0	727,0	760,0	788,0	850,0	850,0
3612	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0

Obrázek 3.19: Mapa požadované hmotnosti nasávaného vzduchu pro regulaci EGR ventilu

Hodnoty nastavení PI regulátoru v řídicí jednotce motoru:

- **velká kladná regulační odchylka,**
- **velká záporná regulační odchylka,**
- **malá regulační odchylka.**

Malá regulační odchylka je přímo definovaná konstantní hodnotou průtoku nasávaného vzduchu - 40,8 mg/str. Dále jsou nastaveny hodnoty minimální (0 mg/str) a maximální (850mg/str) meze hodnot hmotnosti nasávaného vzduchu.

Tabulka 3.2: Nastavení PI regulátoru EGR ventilu

	Zesílení proporcio- nálního členu [K_p]	Časová konstanta in- tegračního členu [τ_i]
velká kladná re- gulační odchylka	0,112109	0,610352
velká záporná re- gulační odchylka	0,045996	0,351868
malá regulační odchylka	0,045996	0,351868

4. Optimalizace řídicí jednotky motoru

Princip testování vozidla

Zvolené vozidlo pro testování bylo VW Bora, rok výroby 2001, motor 1.9 TDI 96kw (kód motoru ASZ). Vozidlo obsahuje řídicí jednotku Bosch EDC15P+, originální číslo dílu: 038906019HJ, softwarová verze 360004. Řídicí jednotka byla upravena pro možnost úpravy dat, zapsaných ve FLASH paměti za chodu motoru, viz. podkapitola 3.3



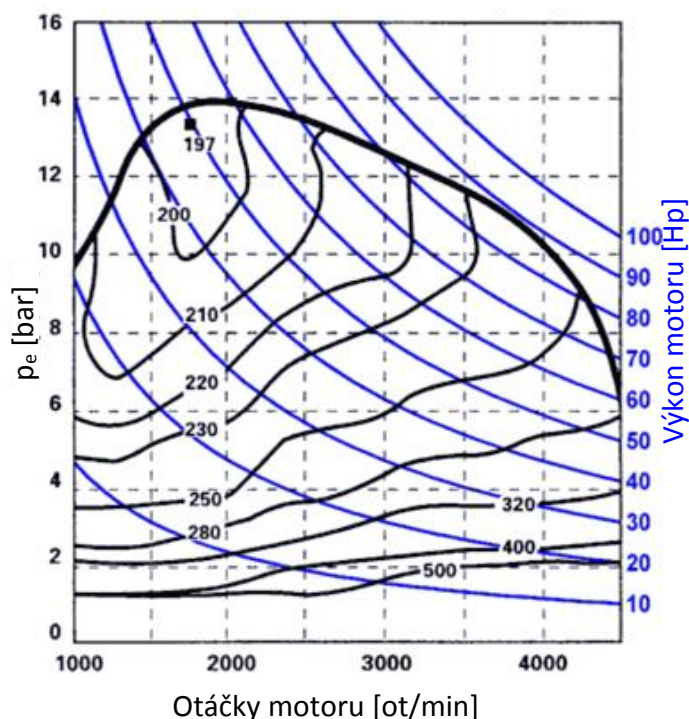
Obrázek 4.1: Testované vozidlo VW Bora

Automobil byl testován z hlediska průběhu a maximálního výkonu motoru a jednotlivých složek emisí. Pro porovnání výsledků softwarové úpravy bylo vozidlo nejprve otestováno v sériovém stavu. Vozidlo bylo měřeno na válcovém dynamometru značky MAHA, model LPS3000 a emisním analyzátoru značky Bosch, model BEA 050. Při měření emisních složek bylo vozidlo zatíženo v režimu konstantních otáček. Pomocí originální diagnostiky byly sledovány tyto veličiny: požadované vstříkované množství paliva [mg/str], požadovaná a skutečná hodnota množství nasávaného vzduchu [mg/str], pracovní cyklus EGR ventilu [%] a poloha plynového pedálu [%]. Hodnoty emisních složek byly odečteny po ustálení. Chyby měření emisního analyzátoru a opacimetru Bosch jsou dány tabulkou 4.1. Výběr mezi absolutní a relativní chybou byl zvolen na základě větší chyby měřené hodnoty.

Tabulka 4.1: Chyby měření emisního analyzátoru

	CO	CO ₂	O ₂	HC	NO _x	Kouřivost
Absolutní	±0,03 % vol.	±0,5 % vol.	±0,1 % vol.	±10 ppm	±25 ppm	±0,032 m-1
Relativní	±5 %	±5 %	±5 %	±5 %	±5 %	±5 %

Otáčky motoru, při kterých bylo měření prováděno byly zvoleny na základě grafu měrné spotřeby paliva motoru. Měrná spotřeba paliva je měřítkem účinnosti paliva jakéhokoliv motoru. Označuje se m_p a je v jednotkách $g/kW \cdot h$. Graf zobrazený na obrázku 4.2 je pro slabší variantu motoru 1.9TDI, konkrétně výkonová verze 90 Hp.

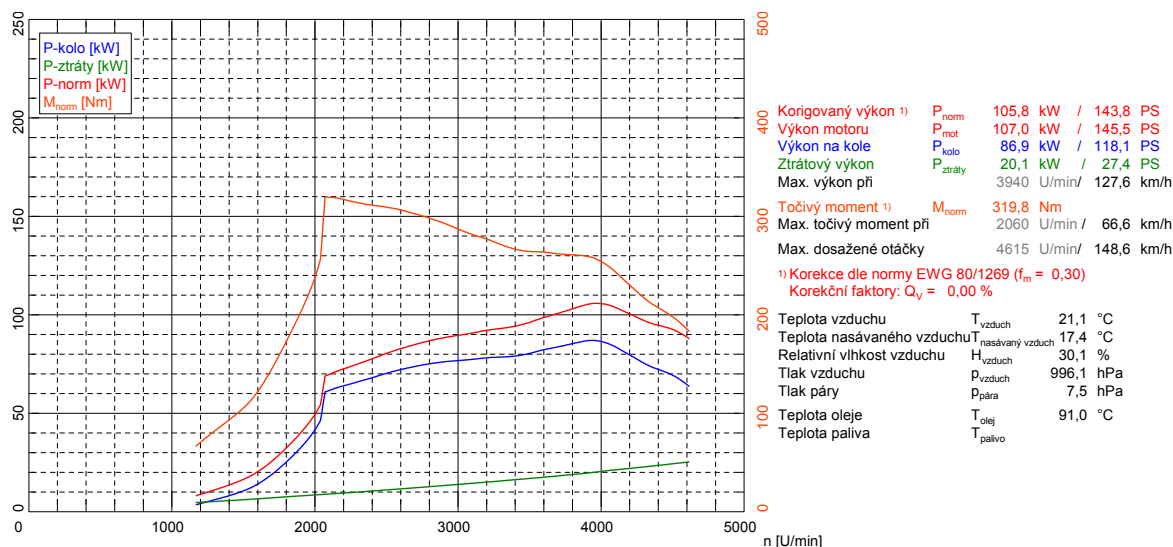


Obrázek 4.2: Měrná spotřeba paliva motoru 1.9TDI

Modrá křivka představuje konstantní výkon motoru. Tučná černá křivka zobrazuje střední efektivní tlak motoru a poslední křivky odpovídají měrné spotřebě paliva. Pokud požadujeme výkon motoru např. 50 Hp, nejnižší měrná spotřeba paliva odpovídá otáčkám v okolí bodu 1750 ot/min a to 197 $g/kW \cdot h$.

Dle výrobce maximum středního efektivního tlaku (p_e) dosahuje v 1900 ot/min, kdy má motor nejvyšší točivý moment 310 Nm. Tyto otáčky byly zvoleny pro další měření. Nejvyšší výkon motoru je 96 kW při 4000 ot/min, graf naměřeného výkonu je zobrazen na obrázku 4.3.

Výsledky testovaného vozidla



Obrázek 4.3: Naměřený průběh momentu a výkonu motoru

Maximální naměřený moment motoru odpovídá sériovým parametrům, naměřený výkon motoru je vyšší o hodnotu 11 kW, to odpovídá velmi dobrému stavu motoru. Dle grafu měření výkonu, bylo naměřeno maximum točivého momentu v 2060 ot/min. Průběh (nástup) momentu je zkrácen proměnnou zátěží dynamometru.

4.1 Úprava řízení EGR ventilu

Testovaná a upravovaná oblast mapy EGR ventilu pro konstantní otáčky motoru 1900 ot/min je zobrazena na obrázku 4.4.

g/str min-1	Egr (Amount of fuel, Rpm) /mg/str												
	0,0	3,0	7,4	10,0	12,4	15,0	17,4	20,0	22,4	25,0	29,0	33,0	51,0
0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0
760	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0
780	250,0	250,0	270,0	290,0	380,0	450,0	515,0	545,0	585,0	650,0	850,0	850,0	850,0
903	250,0	250,0	270,0	290,0	380,0	450,0	515,0	545,0	585,0	650,0	850,0	850,0	850,0
1000	250,0	250,0	270,0	290,0	380,0	450,0	515,0	545,0	585,0	650,0	850,0	850,0	850,0
1239	250,0	250,0	270,0	310,0	395,0	450,0	515,0	545,0	585,0	615,0	850,0	850,0	850,0
1386	250,0	250,0	270,0	310,0	395,0	450,0	500,0	540,0	575,0	605,0	655,0	850,0	850,0
1491	250,0	250,0	270,0	310,0	390,0	440,0	490,0	530,0	565,0	600,0	630,0	850,0	850,0
1596	250,0	250,0	270,0	310,0	380,0	430,0	480,0	520,0	555,0	590,0	620,0	850,0	850,0
1743	250,0	250,0	270,0	310,0	370,0	425,0	475,0	515,0	555,0	585,0	615,0	850,0	850,0
1995	250,0	250,0	270,0	310,0	370,0	425,0	475,0	515,0	555,0	585,0	615,0	850,0	850,0
2247	250,0	250,0	270,0	310,0	370,0	425,0	475,0	515,0	555,0	585,0	615,0	850,0	850,0
2600	260,0	270,0	290,0	325,0	385,0	445,0	495,0	540,0	580,0	610,0	640,0	850,0	850,0
3423	348,3	406,7	430,0	480,0	535,0	600,0	650,0	690,0	727,0	760,0	788,0	850,0	850,0
3612	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0

25%

30%

35%

40%

45%

Poloha plynového pedálu:

Obrázek 4.4: Oblast čtení v mapě požadované hmotnosti nasávaného vzduchu

Tabulka 4.2: Testování EGR ventilu při konstantních otáčkách motoru

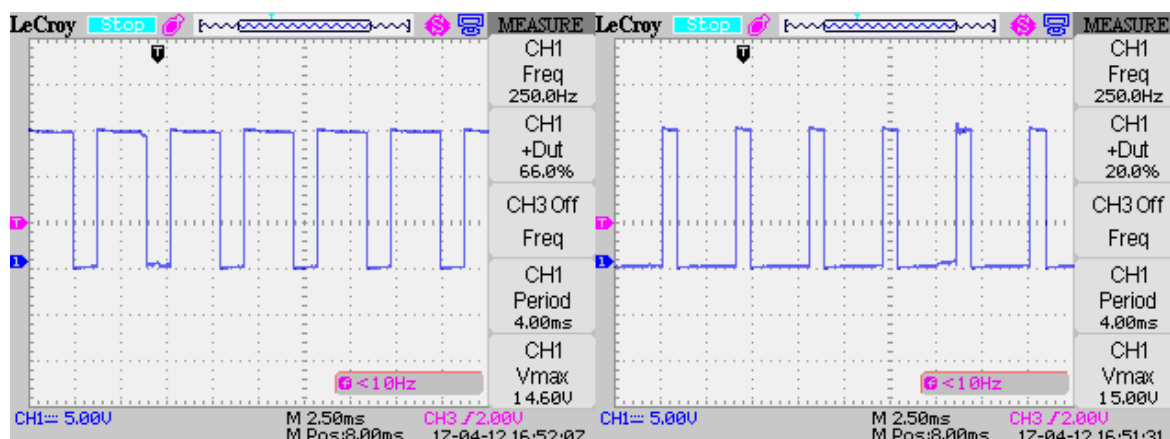
Poloha plynového pedálu [%]	Požadované vstřikované množství paliva [mg/str]	EGR aktivní [ano/ne]	Požadovaná hodnota množství nasávaného vzduchu [mg/str]	Skutečná hodnota množství nasávaného vzduchu [mg/str]	Pracovní cyklus EGR [%]
25	9,9	ano	300	313,6	60,2
30	12,9	ano	380	372,4	57,4
35	15,9	ano	444	441	53,4
40	22,5	ano	545	539	47
45	27,5	ano	605	568	44,7
100	70	ne	850	1200	4,8

Tabulka 4.2 zobrazuje požadované a skutečné hodnoty nasávaného vzduchu v závislosti na poloze plynového pedálu při konstantních otáčkách motoru. EGR ventil pracuje v rozsahu 0 - 29 mg/str množství vstřikovaného paliva, to odpovídá poloze 0 - 45 % plynového pedálu (při 1900 ot/min).

Pracovní cyklus EGR ventilu měřený diagnostikou přímo odpovídá střídě PWM signálu (viz. obrázek 4.5 a 4.6), kterým je elmag. ventil ovládán. Originální diagnostika VCDS umožňuje provést test funkčnosti EGR ventilu (obrázek 4.5), ve kterém periodicky otevírá a uzavírá EGR ventil při zvýšených otáčkách motoru. Při tomto testu není plně otevřený EGR ventil, vlivem vysokého množství spalín by nebyl možný chod motoru, proto je hodnota střídý signálu omezena na 64,5 %. Hodnota střídý pro uzavření odpovídá rozmezí 0 - 20 %.



Obrázek 4.5: Test funkčnosti EGR ventilu



Obrázek 4.6: Měření řídicího napětí pro EGR ventil osciloskopem

Tabulka 4.3: Měření emisí sériového stavu pro konstantní otáčky motoru

Poloha plyno- vého pedálu [%]	P_{kolo} [kW]	CO [%]	CO ₂ [%]	HC [ppmvol]	O ₂ [%]	NO _x [ppmvol]	Kouřivost [m-1]
25	0,63	0,041	6	10	12,46	137	0,15
30	5,27	0,001	6,81	0	11,35	177	0,13
35	7,53	0,006	7,08	3	11,08	265	0,15
40	19,24	0	8,41	2	8,88	625	0,12
45	25,33	0	9,53	2	7,84	743	0,15
100	54,17	0,004	11,65	0	5,22	1917	0,24

Tyto naměřené hodnoty slouží jako referenční pro další porovnávání úprav aplikačního softwaru řídicí jednotky. Hodnoty emisních limitů těchto vozidel jsou dané pouze pro maximální kouřivost a to 1,2 m-1.

Vliv EGR na emise výfukových spalin a výkon motoru

V rámci optimalizace byla provedena úprava hodnot požadovaného množství nasávaného vzduchu pro rozsah 1491 ot/min až 2600 ot/min, ve kterých je tento motor nejvíce využíván. Snížením hodnoty požadovaného množství nasávaného vzduchu PI regulátor zajistí více otevřený ventil EGR. Optimalizace byla provedena ve dvou verzích (obrázek 4.7 a 4.8).

g/str min-1	Egr (Amount of fuel,Rpm) /mg/str												
	0,0	3,0	7,4	10,0	12,4	15,0	17,4	20,0	22,4	25,0	29,0	33,0	51,0
0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0
760	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0
780	250,0	250,0	270,0	290,0	380,0	450,0	515,0	545,0	585,0	850,0	850,0	850,0	850,0
903	250,0	250,0	270,0	290,0	380,0	450,0	515,0	545,0	585,0	850,0	850,0	850,0	850,0
1000	250,0	250,0	270,0	290,0	380,0	450,0	515,0	545,0	585,0	650,0	850,0	850,0	850,0
1239	250,0	250,0	270,0	310,0	395,0	450,0	515,0	545,0	585,0	615,0	850,0	850,0	850,0
1386	250,0	250,0	270,0	310,0	395,0	450,0	500,0	540,0	575,0	605,0	655,0	850,0	850,0
1491	250,0	250,0	259,2	297,6	374,4	422,4	470,4	514,1	553,5	588,0	623,7	850,0	850,0
1596	250,0	250,0	259,2	297,6	364,8	412,8	460,8	504,4	543,7	578,2	613,8	850,0	850,0
1743	250,0	250,0	259,2	297,6	355,2	407,8	455,7	499,4	543,7	573,1	608,8	850,0	850,0
1995	250,0	250,0	259,2	297,6	355,2	407,8	455,8	499,4	543,7	573,1	608,8	850,0	850,0
2247	250,0	250,0	259,2	297,6	355,2	407,8	455,8	499,4	543,7	573,1	608,8	850,0	850,0
2600	260,0	270,0	278,4	311,7	369,3	427,0	475,0	523,8	568,4	597,8	633,6	850,0	850,0
3423	348,3	406,7	430,0	480,0	535,0	600,0	650,0	690,0	727,0	760,0	788,0	850,0	850,0
3612	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0

Procentuální snížení hodnot o:

4%

3%

2%

1%

Obrázek 4.7: Úprava mapy EGR ventilu, verze 1

g/str min-1	Egr (Amount of fuel,Rpm) /mg/str												
	0,0	3,0	7,4	10,0	12,4	15,0	17,4	20,0	22,4	25,0	29,0	33,0	51,0
0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0
760	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0
780	250,0	250,0	270,0	290,0	380,0	450,0	515,0	545,0	585,0	850,0	850,0	850,0	850,0
903	250,0	250,0	270,0	290,0	380,0	450,0	515,0	545,0	585,0	850,0	850,0	850,0	850,0
1000	250,0	250,0	270,0	290,0	380,0	450,0	515,0	545,0	585,0	650,0	850,0	850,0	850,0
1239	250,0	250,0	270,0	310,0	395,0	450,0	515,0	545,0	585,0	615,0	850,0	850,0	850,0
1386	250,0	250,0	270,0	310,0	395,0	450,0	500,0	540,0	575,0	605,0	655,0	850,0	850,0
1491	250,0	250,0	248,4	285,2	358,8	404,8	450,8	498,2	553,5	588,0	623,7	850,0	850,0
1596	250,0	250,0	248,4	285,2	349,6	395,6	441,6	488,8	543,7	578,2	613,8	850,0	850,0
1743	250,0	250,0	248,4	285,2	340,4	390,6	436,5	483,8	543,7	573,1	608,8	850,0	850,0
1995	250,0	250,0	248,4	285,2	340,4	390,6	436,6	483,8	543,7	573,1	608,8	850,0	850,0
2247	250,0	250,0	248,4	285,2	340,4	390,6	436,6	483,8	543,7	573,1	608,8	850,0	850,0
2600	260,0	270,0	266,8	298,5	353,7	409,0	455,0	507,6	568,4	597,8	633,6	850,0	850,0
3423	348,3	406,7	430,0	480,0	535,0	600,0	650,0	690,0	727,0	760,0	788,0	850,0	850,0
3612	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0	850,0

Procentuální snížení hodnot o:

8%

6%

2%

1%

Obrázek 4.8: Úprava mapy EGR ventilu, verze 2

Tabulka 4.4: Porovnání požadované hodnoty množství nasávaného vzduchu pro konstantní otáčky motoru

Poloha plynového pedálu [%]	Požadované vstřikované množství paliva [mg/str]	Požadovaná hodnota množství nasávaného vzduchu [mg/str]	Požadovaná hodnota průtoku vzduchu [mg/str], úprava mapy EGR, verze 1	Požadovaná hodnota průtoku vzduchu [mg/str], úprava mapy EGR, verze 2
25	9,9	300	290	285
30	12,9	380	365	345
35	15,9	444	435	410
40	22,5	545	515	515
45	27,5	605	600	600
100	70	850	850	850

Automobil by vybaven sériovým katalyzátorem, který byl po dobu měření plně funkční. Změna hodnot emisních složek oxidu uhelnatého (CO) a nespálených uhlovodíků (HC) se po optimalizaci EGR ventilu nijak neprojevila. Pokud k navýšení těchto hodnot došlo, zřejmě byly upraveny vlivem funkce katalyzátoru na složku CO₂. Opětovné nasávání výfukových spalin má velký vliv na složky NO_x a kouřivost [m-1] motoru.

Tabulka 4.5: Porovnání NO_x po optimalizaci EGR pro konstantní otáčky motoru

Poloha plynového pedálu [%]	NO _x [ppm-vol], sériový stav	NO _x [ppm-vol], úprava EGR, verze 1	NO _x [ppm-vol], úprava EGR, verze 2	Změna NO _x [ppm-vol], úprava EGR, verze 1	Změna NO _x [%], úprava EGR, verze 1	Změna NO _x [ppm-vol], úprava EGR, verze 2	Změna NO _x [%], úprava EGR, verze 1
25	137±7	114±6	99±5	10	-8	26	-20,1
30	177±9	159±8	149±7	1	-0,7	12	-7,0
35	265±13	232±12	216±11	8	-3,2	25	-9,9
40	625±31	478±24	470±24	92	-15,5	100	-16,9
45	743±37	697±35	621±35	0	0,0	0	0,0
100	1917±96	1917±96	1922±96	0	0,0	0	0,0

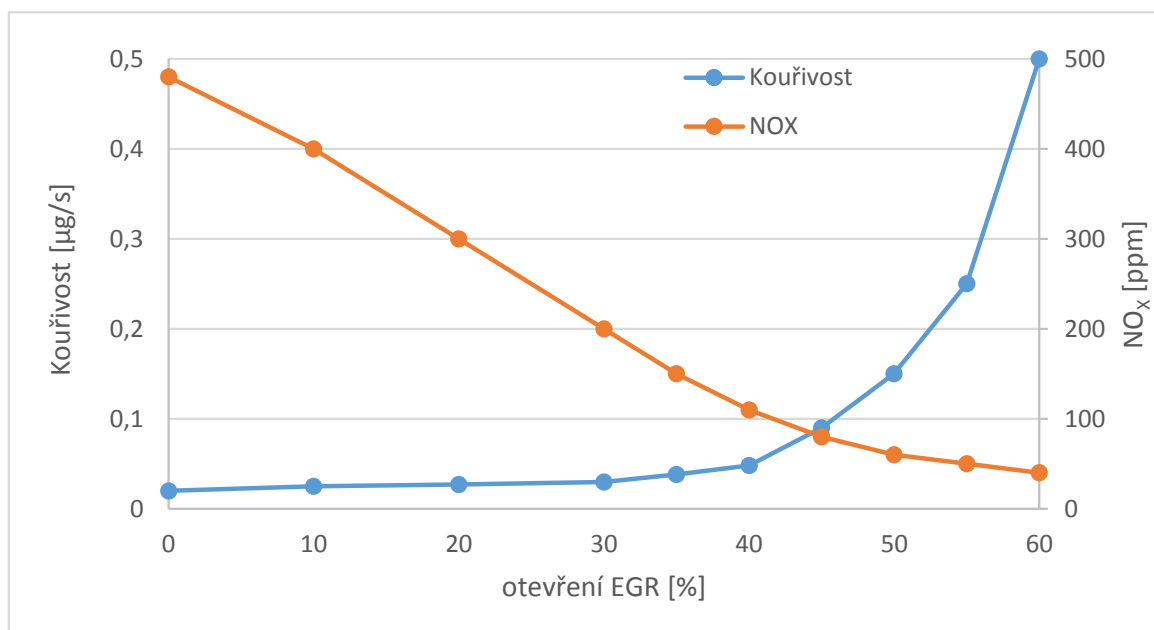
Tabulka 4.5 zobrazuje porovnání hodnot oxidů dusíku (NO_X) mezi sériovým stavem a optimalizací ve dvou verzích. V nízkém zatížení, kdy pracuje recirkulace spalín, jsou hodnoty NO_X velmi malé a absolutní chyba emisního analyzátoru je neúměrně vysoká. Aby bylo možné vyhodnotit výsledky mezi jednotlivými úpravami, měření bylo 3x opakováno. Naměřená hodnota je průměrná ze všech měření. Tím došlo k výraznému zpřesnění výsledků a proto byla použita relativní chyba měření.

Nejvíce se optimalizace projevila pro polohu plynového pedálu 40 %. U verze 1 došlo ke snížení oxidů dusíku o 15,5 %, u verze 2 o 16,9 %. Pro polohu plynového pedálu 45 % byla optimalizace velmi malá, snížení množství nasávaného vzduchu bylo provedeno pouze o 1 %. To se nijak na změně NO_X neprojevilo. U verze 2 je snížení oxidů dusíku výraznější pro rozsah 25 - 35 % polohy plynového pedálu.

Tabulka 4.6: Porovnání kouřivosti po optimalizaci EGR pro konstantní otáčky motoru

Poloha plynového pedálu [%]	Kouřivost [m-1], sériový stav	Kouřivost [m-1], úprava EGR, verze 1	Kouřivost [m-1], úprava EGR, verze 2	Změna kouřivosti [m-1], úprava EGR, verze 1	Změna kouřivosti [m-1], úprava EGR, verze 2
25	0,15±0,032	0,25±0,032	0,22±0,032	+0,16	+0,13
30	0,13±0,032	0,16±0,032	0,22±0,032	+0,09	+0,15
35	0,15±0,032	0,17±0,032	0,23±0,032	+0,08	+0,14
40	0,12±0,032	0,14±0,032	0,14±0,032	+0,08	+0,08
45	0,15±0,032	0,18±0,032	0,19±0,032	+0,09	+0,1
100	0,23±0,032	0,23±0,032	0,24±0,032	0,00	0,00

Více otevřený EGR ventil způsobí větší podíl výfukových spalín nasávaných do sání motoru (méně kyslíku). To má za následek nižší teplotu hoření. Úpravou dosáhneme snížení oxidů dusíku ale naopak zvýšíme kouřivost vozidla.



Obrázek 4.9: Vliv EGR ventilu na emise motoru[4]

Nejvyšší naměřená kouřivost sériového stavu pro oblast aktivního EGR ventilu je $0,15 \text{ m-1} \pm 0,032$. Optimalizace verze 1 způsobí nárůst kouřivosti maximálně o $0,16 \text{ m-1}$, verze 2 $0,15 \text{ m-1}$. Hodnoty jsou včetně započítané nejhorší možné chyby měření $0,062 \text{ m-1}$. Po provedené optimalizaci automobil nepřekročí maximální povolenou kouřivost danou výrobcem automobilu.

Měření výkonu proběhlo stejně jako měření emisních složek. Naměřené hodnoty P_{kolo} odpovídají výkonu na kole vozidla, tedy výkonu motoru sníženého o ztráty na převodovém ústrojí a pneumatikách.

Tabulka 4.7: Porovnání výkonu po optimalizaci EGR pro konstantní otáčky motoru

Poloha plynového pedálu [%]	P_{kolo} [kW], sériový stav	P_{kolo} [kW], úprava EGR, verze 1	P_{kolo} [kW], úprava EGR, verze 2	Změna P_{kolo} [kW], úprava EGR, verze 1	Změna P_{kolo} [kW], úprava EGR, verze 2
25	0,63	0,52	0,41	-0,11	-0,22
30	5,27	4,72	4,7	-0,55	0,57
35	8,05	8,36	8,03	0,31	-0,02
40	19,24	16,11	15,92	-3,13	-3,32
45	25,33	24,7	24,5	-0,63	-0,83
100	54,17	54,17	53,9	0	-0,27

Změna se nejvíce projevila pro polohu plynového pedálu 40%, kde se projevilo snížení výkonu o 3,13 kW pro optimalizaci EGR verze 1 a 3,32 kW pro verzi 2. V ostatních režimech motoru je změna výkonu zanedbatelná.

4.2 Úprava startovací dávky motoru

Při startování motoru mikrokontrolér řídící jednotky motoru čte z oblasti aplikačního softwaru - mapy startovací dávky. Množství vstřikovaného paliva při startu motoru je dáno teplotou chladicí kapaliny [°C, osa X] a otáčkami motoru [ot/min, osa Y].








Problém startování nastává pokud je teplota chladicí kapaliny větší než 20 °C a vozidlo má více opotřebovaný spouštěč motoru či slabší autobaterii. Pokud otáčky motoru nepřesáhnou hodnotu 250 *ot/min* a přitom je teplota chladicí kapaliny větší než 70 °C, systém vstřikování paliva nebude aktivován a motor nebude úspěšně nastartován.

°C min-1	Starting injection quantity (Coolant temperature, Rpm) / mg/str								
	-30	-20	-10	-0	20	40	70	80	100
0	5100	5100	4850	4416	0	0	0	0	0
200	5100	5100	4850	4416	0	0	0	0	0
250	5025	5025	4750	4316	3750	3215	0	0	0
280	4965	4965	4707	4266	3706	3151	2517	2189	1950
600	4488	4488	4204	3738	3200	2662	2106	1778	1578
800	4100	4100	3800	3344	2800	2259	1778	1450	1250
1200	3161	3161	2864	2400	1850	1350	922	644	444

Oblast
čtení
mikro-
kontroléru

Obrázek 4.10: Oblast čtení z mapy startovací dávky

Z obrázku 4.10 vyplývá, že při teplotě chladicí kapaliny 90 °C je požadavek vstřikovaného množství paliva je nulový. Pro usnadnění startu motoru se provádí úprava startovací dávky paliva. Ta spočívá ve zvýšení originálně nulového množství vstřikovaného paliva.

°C min-1	Starting injection quantity (Coolant temperature, Rpm) /mg/str									
	-30	-20	-10	-0	20	40	70	80	100	
0	5100	5100	4850	4416	3850	3290	2637	2256	1990	
200	5100	5100	4850	4416	3850	3290	2637	2256	1990	
250	5025	5025	4750	4316	3750	3215	2546	2227	1970	
280	4965	4965	4707	4266	3706	3151	2517	2189	1950	
600	4488	4488	4204	3738	3200	2662	2106	1778	1578	
800	4100	4100	3800	3344	2800	2259	1778	1450	1250	
1200	3161	3161	2864	2400	1850	1350	922	644	444	
<div>Oblast čtení mikro-kontroléru</div>										

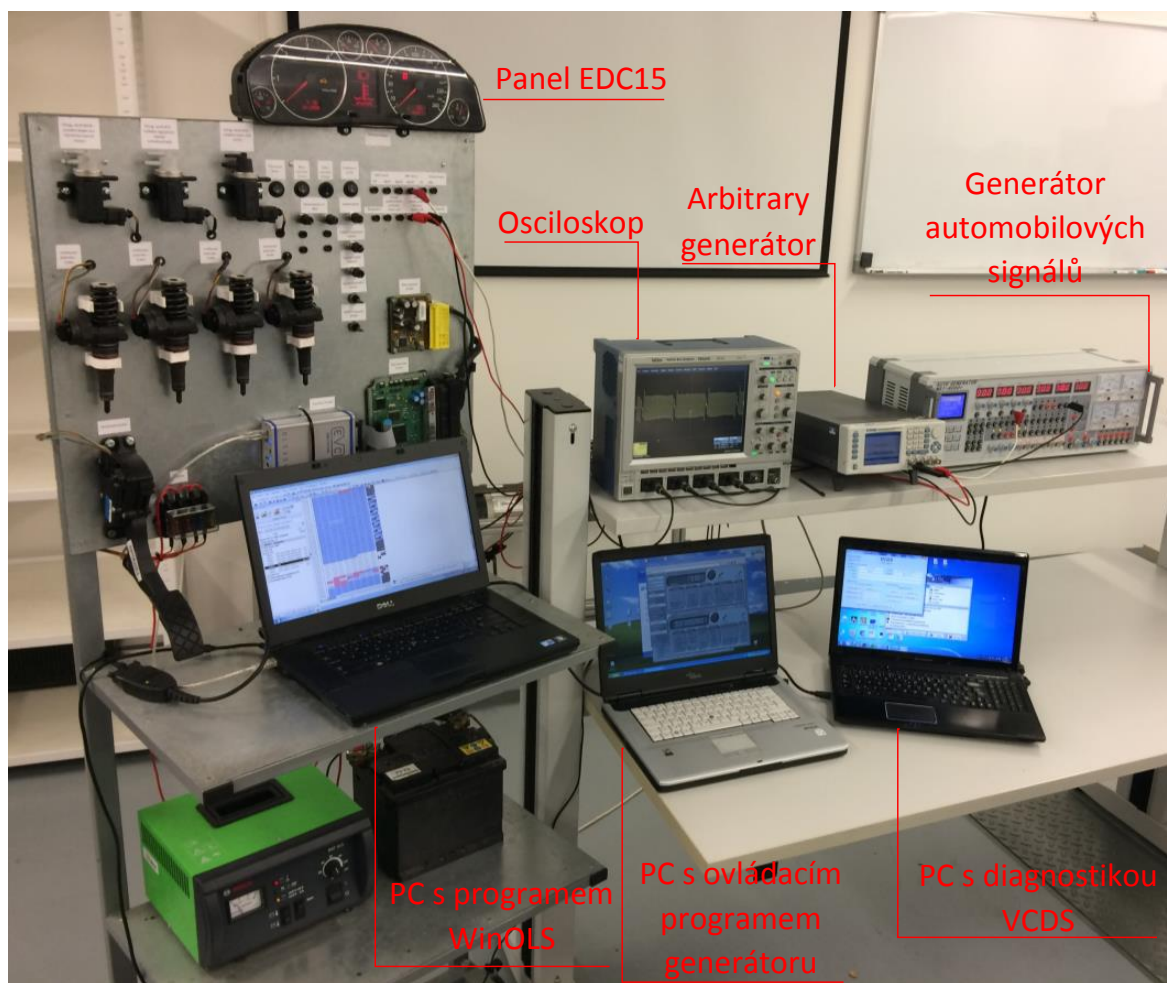
Obrázek 4.11: Upravená startovací dávka paliva

Po této úpravě bude aktivní vstřikovací systém už při první otáčce motoru a tím se výrazně usnadní start motoru.

5. Laboratorní úloha

5.1 Tvorba laboratorního panelu EDC15P+

Panel byl vytvořen z originálních dílů firmy VW AG, tedy originální kabeláž, řídicí jednotka motoru a veškeré snímače a akční členy z vozidla VW Golf 4. Kompletní kabeláž byla velmi složitá, bylo nutné ji zjednodušit a odstranit veškeré kabely, které nesouvisí s řízením motoru.

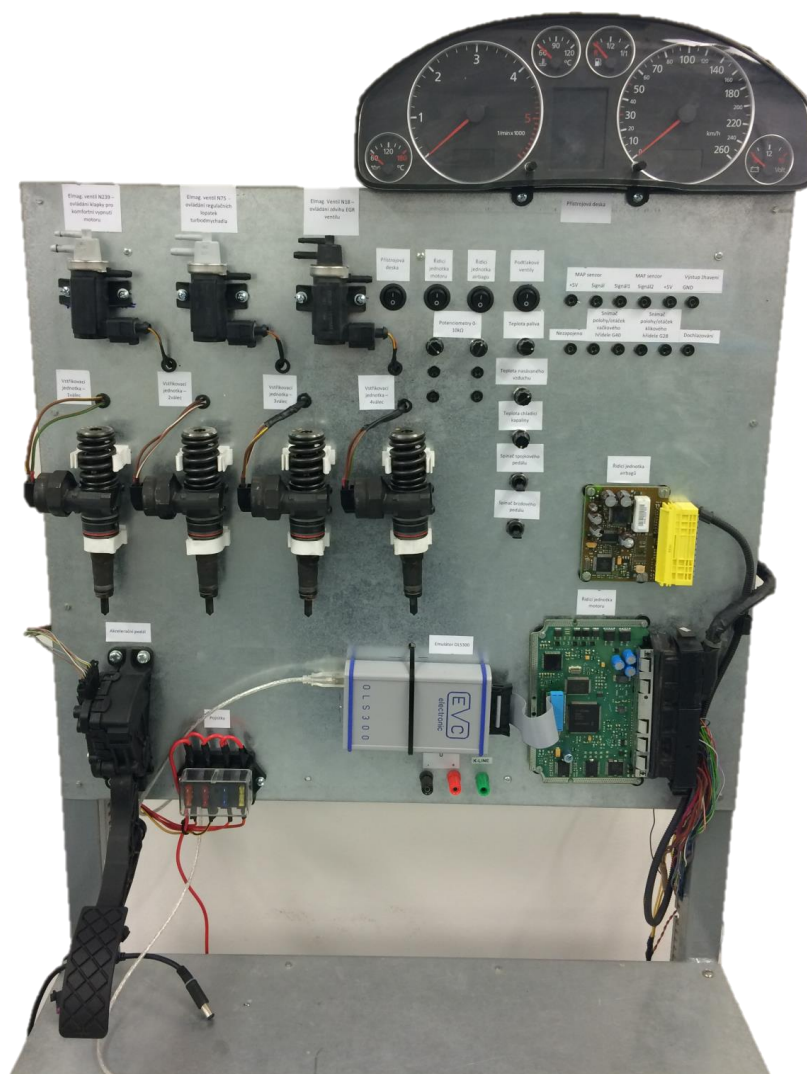


Obrázek 5.1: Měřicí stanoviště laboratorní úlohy

Napájení panelu je zajištěno pomocí autobaterie 12 V 60 Ah. Na panelu je umístěný držák pojistek určený k jištění hlavních komponentů panelu. Hodnoty pojistek jsou převzaté z dílenské příručky vozidla (řídicí jednotka motoru - 30 A, napájení podtlakových ventilů - 10 A, napájení přístrojové desky a řídicí jednotky airbagů - 5 A, napájení konektoru OBD a výstupní konektor napájecího napětí - 5 A). Jednotlivé komponenty mají vlastní vypínač

pro případné vypnutí.

Na panelu jsou umístěny vstřikovací jednotky čerpadlo-tryska, které mimo jiné akusticky signalizují chod motoru spínáním a rozpínáním solenoid ventilu. Dále jsou zde umístěny podtlakové ventily N239 (ovládání klapky komfortního vypnutí motoru), N75 (ovládání regulačních lopatek turbodmychadla) a N18 (ovládání zdvihu EGR ventilu). Plynový pedál slouží k ovládání požadovaného množství vstřikovaného paliva. Regulace teploty paliva, nasávaného vzduchu a chladicí kapaliny je zajištěna pomocí více otáčkových potenciometrů. Dále jsou zde umístěny spínače spojkového a brzdového pedálu, dvojice potenciometrů s hodnotou 0-10 kΩ pro vytvoření např. děliče napětí a 15 konektorů pro připojení dalších snímačů či akčních členů.



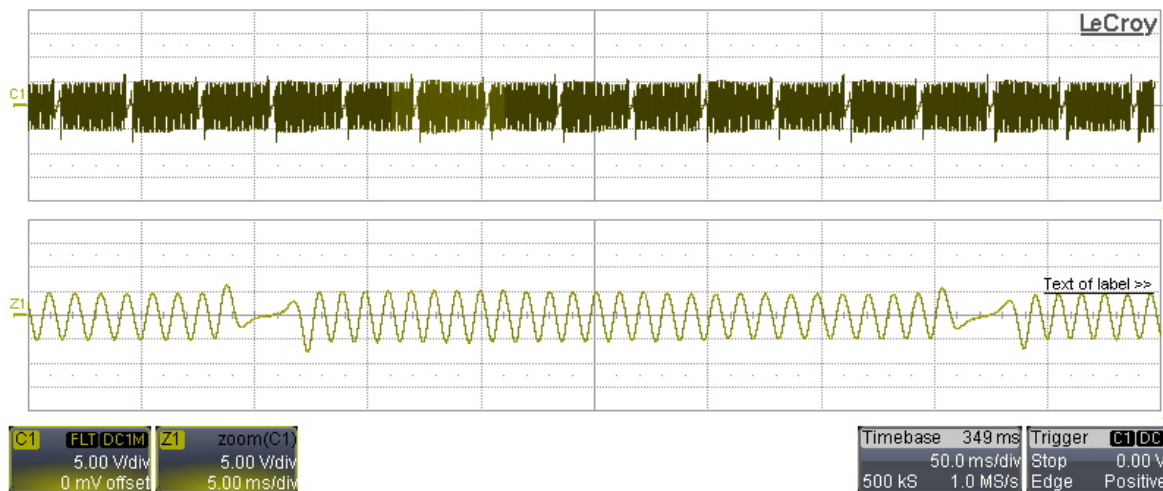
Obrázek 5.2: Laboratorní panel s řídicí jednotkou EDC15P+

5.2 Generování otáček motoru

Motor TDI-PD pro snímání otáček/polohy používá dva typy snímačů. Hlavní snímač umístěný v bloku motoru je induktivní a snímá rychlost a polohu skrze impulsní kolo šroubované na klikovém hřídeli. Druhý snímač, Hallův, je umístěný na hlavě motoru a snímá speciální zuby na rozvodovém kole vačkové hřídele.

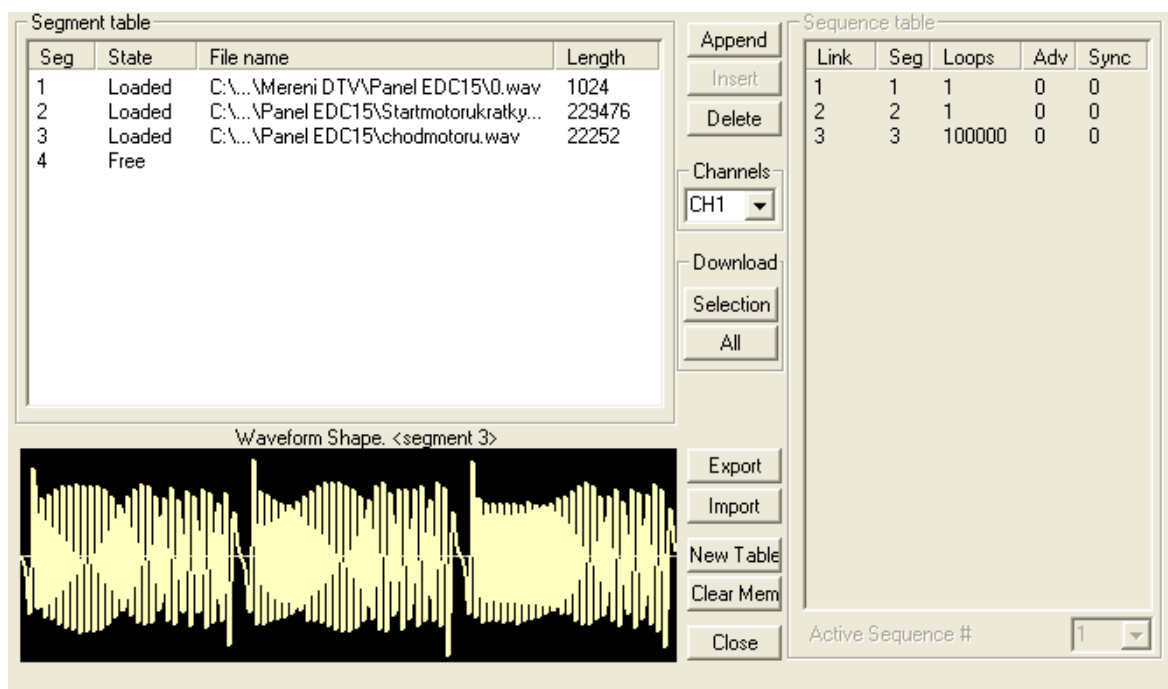
Aby řídicí jednotka povolila start motoru (aktivace vstřikovačů), stačí pouze signál z induktivního snímače otáček a polohy klikového hřídele. Tento signál musí v prvotní fázi startu motoru akcelarovat, tedy musí proběhnout změna frekvence a amplitudy na výstupu snímače.

Pro tuto aplikaci je vhodný arbitrary generátor Tabor Electronics WW1074. Signál snímače otáček a polohy klikového hřídele byl sledován a uložen digitálním osciloskopem do formátu .trc nebo .csv, popř. jiného. Pro finální využití s arbitrary generátorem je nutné tento soubor ve vývojovém prostředí Wave Composer dále editovat. Výsledkem je soubor ve formátu .wav reprezentující požadovaný úsek periody otáček, resp. celou periodu nebo i její násobky. Toto dle konkrétních požadavků na výsledný generovaný průběh. Nicméně, pokud je požadován průběh složený s více period s rozdílnou frekvencí (např. reprezentující přechod z fáze stojícího motoru, přes fázi startovní až do fáze volnoběžných otáček), je nutné využít funkci generování tzv. sekvence.



Obrázek 5.3: Naměřený signál snímače otáček klikové hřídele

Vytvořená sekvence generovaného signálu je zobrazena na obrázku 5.4. První signál je nulová hodnota a slouží pro generování klidového stavu motoru (nulové otáčky). Druhý signál je nahraný start motoru. Tento signál slouží k prvotní aktivaci vstřikovacího systému. Následuje třetí signál, který emuluje ustálený chod motoru. Tento signál je opakován 100000x. Pak následuje další smyčka.

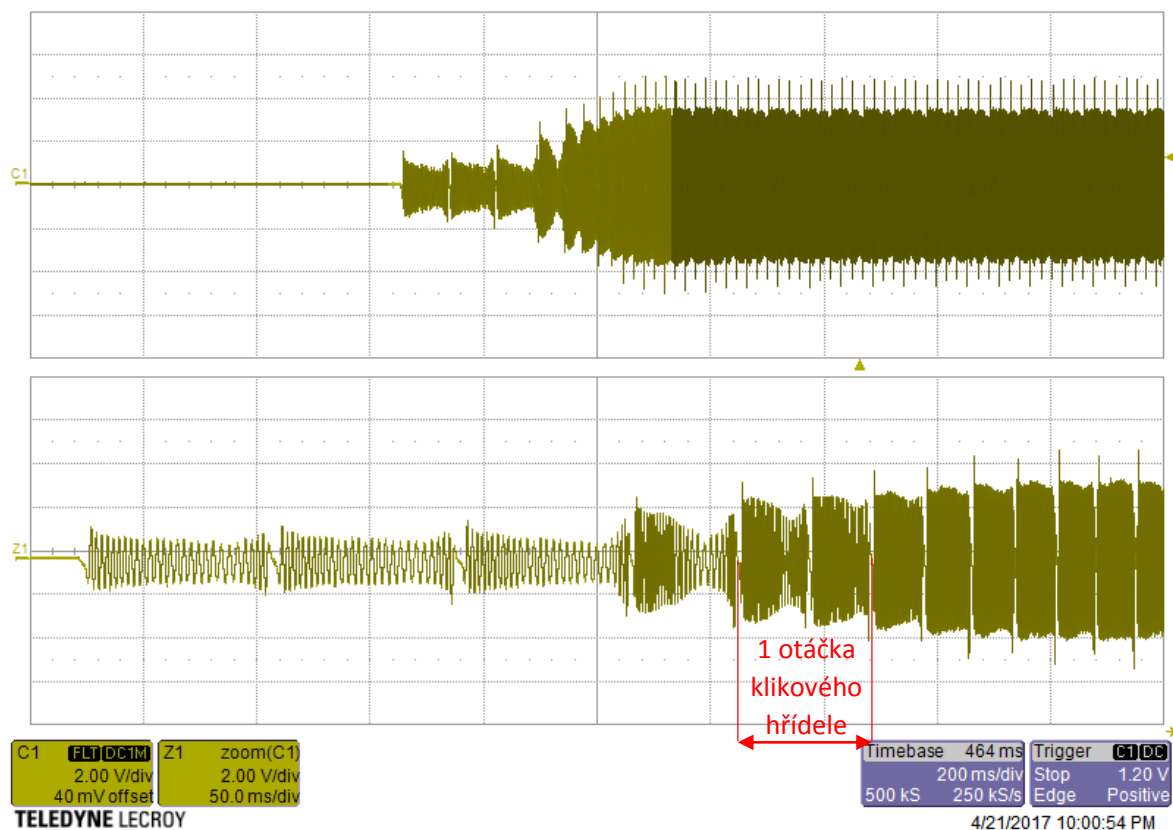


Obrázek 5.4: Nastavení sekvence signálu arbitrary generátoru

Generátor umožňuje změnu frekvence výstupního signálu, to je velmi výhodné pro emulování celého rozsahu otáček motoru. Tato nastavená frekvence neodpovídá frekvenci generovaného signálu, ale interní frekvenci generování vzorků výstupního signálu.

Tabulka 5.1: Příklady přepočtu frekvence signálu generátoru na otáčky motoru

Nastavená frekvence arbitrary generátoru [kHz]	Odpovídající otáčky motoru [ot/min]
50	189
100	399
150	609
250	1000
550	2247
950	3843



Obrázek 5.5: Vygenerovaný signál otáček pomocí arbitrary generátoru

Impulsní kolo, které je součástí klikového hřídele, obsahuje dvě značky pro rozpoznání polohy a celkově 56 snímaných zubů. Jedna otáčka motoru tedy odpovídá dvěma generovaným sekvencím signálu.



Obrázek 5.6: Impulsní kolo klikového hřídele

5.3 Úprava identifikace řídicí jednotky

Veškeré texty, které aplikační software řídicí jednotky obsahuje, jsou psané pomocí kódovací tabulky ASCII v 8-mi bitovém hexadecimálním tvaru. Originální číslo dílu „038906019HJ” bylo přepsáno textem „DP_KLEIN“ (v hexadecimálním tvaru: 44 50 5F 4B 4C 45 49 4E 20 20 20). Dále označení motorizace „1,9l R4” bylo přepsáno textem „KAT430” (v hexadecimálním tvaru: 4B 41 54 34 33 30 20). Text „EDC 1576” byl přepsán na „VSB FEI” (v hexadecimálním tvaru: 56 53 42 a 46 45 49 20).

SEE7E	64 00 00 00	00 00 00 00	64 00 00 00	00 00 00 00	
SEE8E	64 00 00 00	C9 2F C7 2C	27 3F E8 3F	9B 76 ED 51	
SEE9E	10 27 11 27	D1 33 7D 79	8D A0 7E 79	8E A0 7F 79	
SEEA E	8F A0 80 79	90 A0 81 79	91 A0 E1 79	F1 A0 E2 79	
SEEBE	F2 A0 E3 79	F3 A0 E4 79	F4 A0 E5 79	F5 A0 44 50	
SEECE	5F 4B 4C 45	49 4E 20 20	20 20 4B 41	54 34 33 30	
SEEDE	20 20 56 53	42 20 20 53	47 20 20 46	45 49 20 20	
SEEE E	33 39 53 30	30 38 34 39	20 30 32 38	31 30 31 30	
SEEFE	39 37 37 20	46 46 45 57	45 33 30 30	20 20 20 44	
SEF0E	50 5F 4B 4C	45 49 4E 20	20 20 20 30	36 2F 30 30	
SEF1E	00 00 C8 00	14 00 78 05	E8 03 19 1A	4C 04 E8 03	
SEF2E	85 86 78 05	E8 03 87 88	FB FF FF FF	FF FF FF FF	
SEF3E	FF FF FF F7	FF FF FF FF	01 C3 93 2D	81 42 FF FF	
SEF4E	FF FF FA 00	96 00 C8 00	58 02 03 03	8A 02 31 00	
SEF5E	00 00 E0 01	00 00 00 10	00 00 73 00	33 FF 5E 04	

Obrázek 5.7: Upravená oblast identifikace řídicí jednotky

Stav komunikace

IC=1 TE=0 RE=0

Protokol: KW1281 /

VCDS

Výběr funkcí

Identifikace řídicí jednotky

Objednací č.: DP_KLEIN

Systém: KAT430 VSB 0200SG FEI

Kódování: 00003

Dílna #: WSC 31414

Extra:

Extra:

Základní funkce

Tyto funkce jsou "bezpečné"

Paměť závad - 02

Readiness - 15

Měřené hodnoty - 08

Rozšířená ID - 1A

Jednotl. hodnota - 09

Rozšířené měření

Rozšířené funkce

Použijte příručku VSI!

Login - 11

Kódování - 07

Základní nastavení-04

Přizpůsobení - 10

Akční členy - 03

Bezpeč. přístup - 16

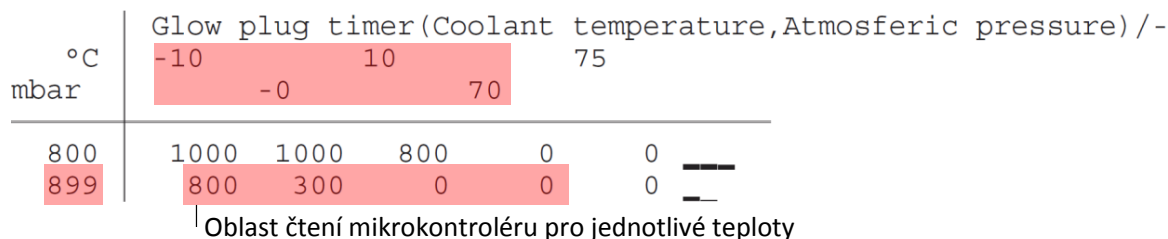
On-line služby

Ukončení komunikace - 06

Obrázek 5.8: Zobrazení identifikace pomocí diagnostiky VCDS

5.4 Příklad laboratorní úlohy - úprava doby aktivace žhavicích svíček motoru

Doba aktivace žhavicích svíček závisí na dvou parametrech. Hodnotě atmosférického tlaku a aktuální teplotě chladicí kapaliny motoru. Pro hodnotu běžného atmosférického tlaku je žhavení aktivní pouze do teploty 10 °C. Oblast čtení mikrokontroléru v mapě pro měřené hodnoty -25 °C, 5 °C a 40 °C je zobrazeno na obrázku 5.9.

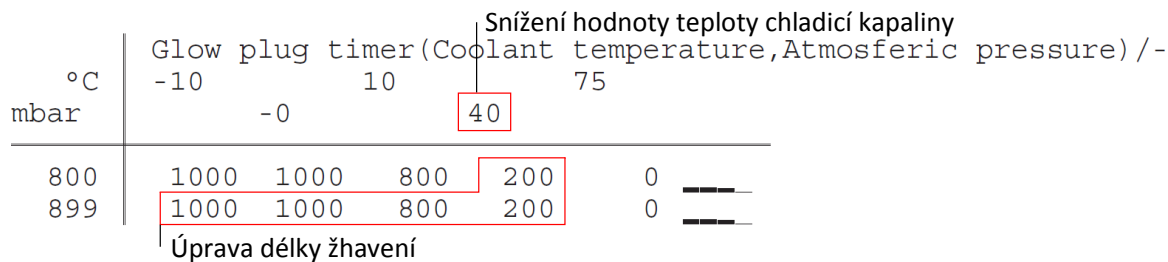


Obrázek 5.9: Oblast čtení v mapě doby aktivace žhavicích svíček

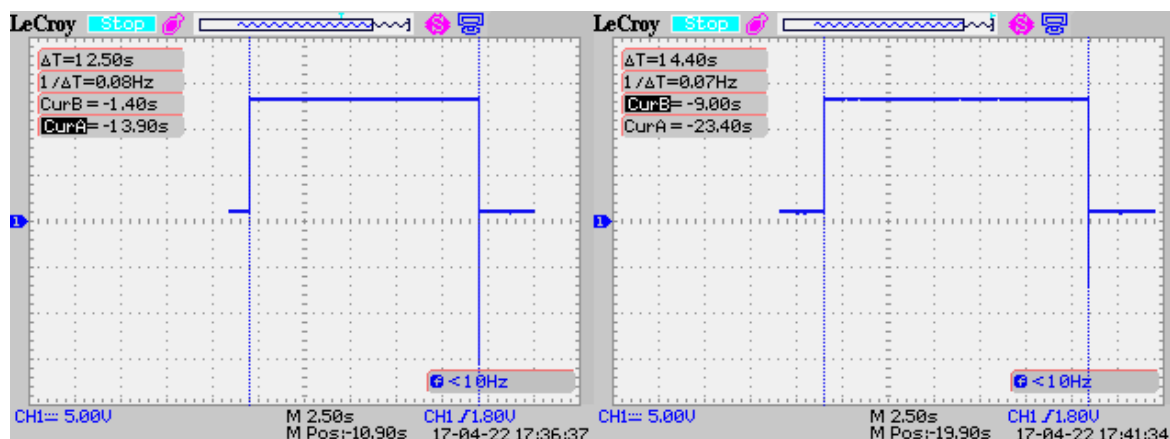
Tabulka 5.2: Doba aktivace žhavicích svíček před a po úpravě

	Teplota chladicí kapaliny [°C]	Doba aktivace žhavení (WinOLS) [-]	Naměřený čas žhavení [s]
Originál	-25	800	12,5
Úprava	-25	1000	14,4
Originál	5	300-0	6,5
Úprava	5	1000-800	13,5
Originál	40	0-0	0
Úprava	40	800-200	6,7

V tabulce 5.2 jsou uvedeny hodnoty nastavené doby aktivace žhavení v aplikačním softwaru FLASH paměti řídicí jednotky motoru a naměřený skutečný čas sepnutí relé žhavicích svíček. Hodnoty čtené mikrokontrolérem jsou pravděpodobně hodnoty interního čítače. Úprava doby aktivace žhavení je zobrazená na obrázku 5.10. Tato úprava se nejvíce projeví pro teploty od 0 °C. Např. doba aktivace žhavení pro teplotu 5 °C vzrostla více než dvojnásobně. Dále byla upravena hodnota na ose X, která způsobí posunutí aktivního žhavení až na teplotu 40 °C.



Obrázek 5.10: Úprava mapy doby aktivace žhavicích svíček



Obrázek 5.11: Změřená doba aktivace žhavicích svíček před a po úpravě pro teplotu chladicí kapaliny -25 °C

5.5 Příklad laboratorní úlohy - úprava délky vstřikování paliva

Měření bylo provedeno pro konstantní otáčky motoru (1911 *ot/min*) a pro konstantní požadované množství vstřikovaného paliva (22 *mg/str*). Čtená mapa délky vstřikování paliva je vybírána dle aktuální hodnoty počátku vstřikování paliva. V tomto případě se jedná o mapu „Injection Duration 3”.

min-1 mg/str	Injection Duration 3 (Rpm, Amount of fuel)/*											
	100	200	600	800	1000	1250	1500	1750	2000	2500	2750	3000
1	3,6	3,1	1,7	1,1	0,6	0,0	-0,4	-0,4	-0,7	-0,8	-1,1	-1,3
2	6,0	5,7	4,4	2,9	2,5	2,4	2,0	1,7	1,5	1,3	0,7	-0,1
5	7,7	7,3	6,0	5,2	5,0	4,6	3,2	2,6	2,0	1,8	1,4	0,4
7	8,3	7,9	6,6	5,9	5,6	5,2	4,1	3,2	2,4	2,2	1,9	0,8
10	8,9	8,5	7,1	6,5	6,2	5,7	5,3	4,5	4,3	3,2	2,8	2,4
15	9,5	9,2	7,7	7,0	6,8	6,8	6,6	6,3	5,8	4,5	3,7	3,4
20	10,5	10,2	8,6	7,6	7,6	7,8	7,8	7,8	7,8	7,4	6,7	6,0
25	11,6	11,0	9,5	8,6	8,8	9,3	9,7	9,7	9,7	9,5	9,4	9,2
30	12,6	12,2	10,4	9,5	9,6	10,4	11,1	11,3	11,5	11,7	11,6	11,6
35	14,1	13,6	11,4	10,8	10,9	11,6	12,3	12,6	12,9	13,5	13,7	13,9
40	15,7	15,0	12,5	11,9	11,9	12,8	13,5	14,0	14,3	15,0	15,3	15,6
45	17,2	16,5	13,6	12,9	13,1	13,9	14,9	15,4	15,9	16,8	17,3	17,6
50	18,9	17,9	14,7	14,0	14,2	15,2	16,3	16,8	17,3	18,4	18,8	19,4
55	20,6	19,6	15,9	15,1	15,3	16,3	17,5	18,1	18,8	19,9	20,5	21,1
60	22,5	21,2	17,1	16,2	16,4	17,5	18,8	19,5	20,1	21,3	22,1	22,6

Obrázek 5.12: Oblast čtení v mapě délky vstřikování paliva 3

Tabulka 5.3: Porovnání délky vstřikování paliva před a po úpravě

	Délka vstřikování paliva φ_{inj} [°]	Skutečný čas vstřikování t_{ijn} [ms]	Vypočítaný čas vstřikování t_{ijn} [ms]
série	9,1	1,601	1,582
+30%	9,9	1,757	1,721
+60%	10,7	1,899	1,86
+90%	16,5	2,927	2,869

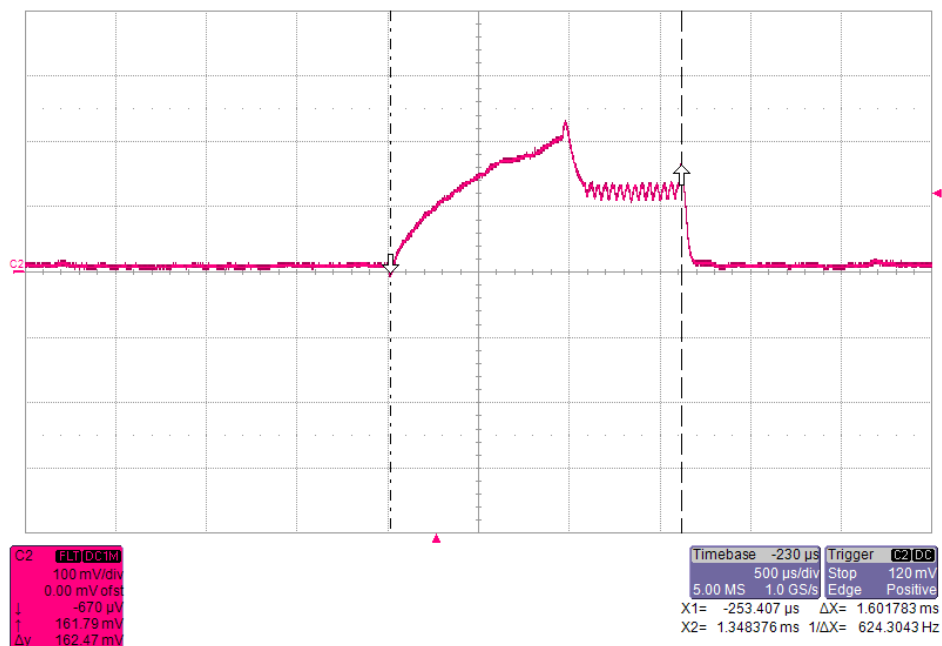
Příklad výpočtu času vstřikování pro sériovou délku vstřikování paliva:

$$f = \frac{n}{60} = \frac{1911}{60} = 31,85 \text{ Hz} \quad (5.1)$$

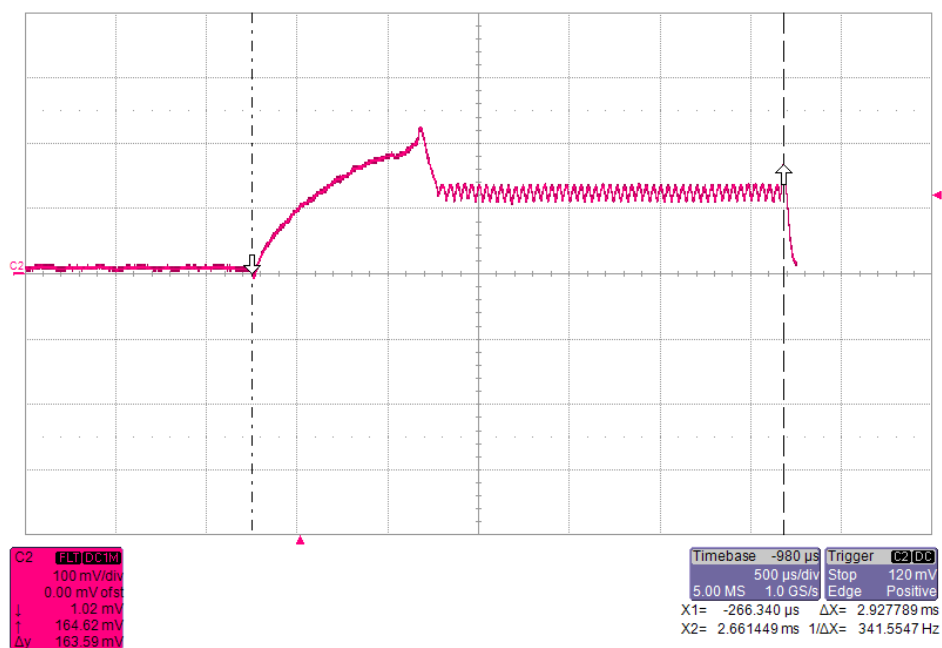
$$t_{ijn} = \frac{\varphi_{inj}(\text{rad})}{\omega(\text{rad/s})} = \frac{\varphi_{inj}(\text{°}) \cdot 0,0174}{2 \cdot \pi \cdot \frac{f}{2}} = \frac{9,1 \cdot 0,0174}{\pi \cdot 31,85} = 0,001582 \text{ s} = 1,582 \text{ ms} \quad (5.2)$$

Délka vstřikování paliva φ_{inj} [°] odpovídá úhlu otočení vačkového hřídele. Poměr mezi klikovým a vačkovým hřídelem je 2:1, tedy dvě otáčky klikového hřídele odpovídají jedné otáčce vačkového hřídele. Z tohoto důvodu je ve vzorci 5.2 použita poloviční hodnota frekvence f [Hz].

Hodnoty délky vstřikování paliva φ_{inj} byly odečteny autodiagnostikou v režimu měřených hodnot. Vlivem zaokrouhlení hodnot došlo k mírné odchylce měřených a vypočítaných hodnot. Změřené průběhy vstřikování pro sériovou a upravenou délku vstřikování jsou zobrazeny na obrázcích 5.13 a 5.14.



Obrázek 5.13: Změřený průběh proudu vstřikovačem - sériový stav



Obrázek 5.14: Změřený průběh proudu vstřikovačem - zvýšení hodnoty o 90%

Úprava délky vstřikovaného množství paliva o 30, 60 a 90 % byla provedena pouze pro demonstrativní účely laboratorní úlohy, nejedná se o standardní úpravu při zvyšování výkonu vozidla.

6. Závěr

V úvodu této práce byla provedena analýza všech generací řízení motoru EDC. Detailně byla rozebrána konkrétní řídicí jednotka EDC15, která byla montovaná do automobilů koncernu VW AG. Tato řídicí jednotka byla zvolena z důvodu možné emulace FLASH paměti, ve které je uložen aplikační software řízení motoru. Tato jednotka byla využívána s doplňkovým modulem OLS300, který pracuje ve spojení s programem WinOLS a umožňuje změnu důležitých dat (map, neboli polí konstant) pro oblast řízení a regulace motoru za běhu agregátu.

V další kapitole byla provedena detailní analýza aplikačního software elektronického systému řízení motoru EDC15. Je zde také obsažen krátký popis a návod na ovládání software WinOLS, který je využíván k úpravám obsahu pamětí (FLASH, micro FLASH, EEPROM) řídicích jednotek motoru. Analyzovaný aplikační software byl pro přehlednost rozdělen do 3 oblastí - oblast vstřikování paliva, přepřínování a regulace EGR ventilu. V aplikačním softwaru byly vyhledány a detailně popsány jednotlivé mapy, které jsou důležité pro běh a funkčnost motoru.

Následující kapitola se zabývá úpravou/optimalizací dat řídicí jednotky a experimentálním ověřením výsledků. Na základě informací zpracovaných v předchozí kapitole byly na vozidle provedeny úpravy řízení EGR ventilu, z důvodu možného snížení emisních složek. Aby bylo možné ověřit výsledky optimalizace, bylo vozidlo otestováno v sériovém stavu z hlediska výkonu motoru a jednotlivých složek emisí. Měření výsledků bylo provedeno pro polohy plynového pedálu 25 - 45 %. V tomto rozsahu je EGR ventil aktivně využíván. Díky emulátoru OLS300 byly hodnoty požadované hmotnosti nasávaného vzduchu, které slouží pro regulaci EGR, měněny za běhu měření.

Dále byly vytvořeny dvě verze optimalizace, u kterých byly porovnávány hodnoty emisních složek NO_x a kouřivosti motoru (výsledky jsou zobrazeny v tabulkách 4.5 a 4.6). Snížení složek NO_x se nejvíce projevilo u úpravy verze 2 (snížení o 7 až 20 %), naopak se u této verze projevila zvýšená kouřivost motoru (o hodnoty 0,1 až 0,15 m^{-1}). Více otevřený EGR ventil způsobí větší podíl výfukových spalín nasávaných do sání motoru. To může způsobit snížení výkonu motoru. To se projevilo pouze u vyššího zatížení (poloha plynového pedálu 40%), kde klesl výkon z původních 19,21 kW na 15,92 kW. Výsledky jsou zobrazeny v tabulce 4.7. Originální nastavení regulace EGR ventilu je velmi dobře provedeno, optimalizací se povedlo snížení složek NO_x ale za cenu vyšší kouřivosti motoru, která je stále výrazně nižší, než je povolená hodnota výrobcem automobilu.

Dále byla provedena úprava startovací dávky motoru. Tato úprava výrazně usnadní start zahřátého motoru. Sériové nastavení je provedeno tak, že pokud otáčky motoru nedosáhnou požadovaných 250 ot/min a zároveň je teplota chladicí kapaliny vyšší než 70 °C systém vstřikování nebude aktivován. Úprava spočívá ve zvýšení originálně nulových hodnot množství vstřikovaného paliva. Provedená úprava je zobrazena na obrázku 4.11.

Závěrem této práce byl proveden návrh a praktická realizace laboratorního modelu s řídicí jednotkou Bosch EDC15 využívající emulátor OLS300 společně se softwarem WinOLS. Následují vytvořené příklady laboratorní úlohy pro další využití při výuce předmětu Automobilová elektronika II - úprava doby aktivace žhavicích svíček motoru a úprava délky vstřikování paliva.

Literatura

- [1] EGR diagram [online]. Dostupné z:
<<https://www.researchgate.net/figure/282448607>>, [cit. 2017-04-12].
- [2] Tiskové forum Bosch [online]. Dostupné z: <<http://press.bosch.cz/>>, [cit. 2017-04-12].
- [3] REPROGRAM CAR'S ECU [online]. Dostupné z:
<<http://www.tuningfiles.com/how-to-choose-chip-tuning-tools>>, [cit. 2017-04-16].
- [4] Effect of EGR on Emissions and Engine Performance [online]. [cit. 2017-04-20].
URL <https://www.dieselnets.com/tech/engine_egr_performance.php>
- [5] Bosch, R.: *Diesel Fuel-Injection Systems Unit Injector System/Unit Pump System: Bosch Technical Instruction*. Bosch Technical Library, Bentley Publishers, 2000, ISBN 9780837606156.
URL <<https://books.google.cz/books?id=1E0NAAAACAAJ>>
- [6] Bosch, R.: *Electronic Diesel Control (EDC): Bosch Technical Instruction*. Bentley Publishers, 2003, ISBN 9780837610887.
URL <<https://books.google.cz/books?id=SJ8FAAAACAAJ>>
- [7] Group, V.: *1.9-ltr. TDI Engine with Pump Injection System*. 2001.
- [8] Hromádka, J.: *Spalovací motory*. Grada Publishing a.s., 2011, ISBN 9788024734750.
URL <<https://books.google.cz/books?id=Lm4GsqrWsAC>>
- [9] Štoss, M.: *Spalovací motory*. Učební texty vysokých škol, Vysoké učení technické, 1992, ISBN 9788021404175.
URL <<https://books.google.cz/books?id=og8lAAAACAAJ>>
- [10] Volkswagen AG, W.: *Electronic Diesel Control EDC 16*.

7. Seznam příloh

- Příloha A - Laboratorní úloha
- Příloha B - Nastavení arbitrary generátoru
- Příloha C - Schéma zapojení řídicí jednotky